

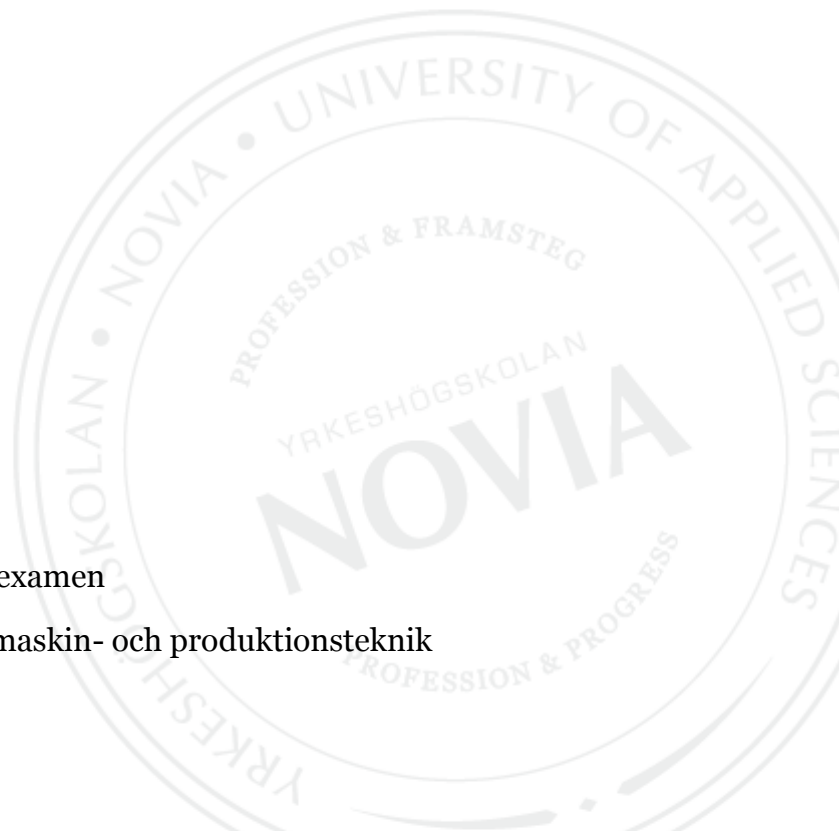
# **Kokoonpanolinjan rakennus ja optimointi**

Robert Rotkirch

Examensarbete för ingenjörsexamen

Utbildningsprogrammet för maskin- och produktionsteknik

Vasa 2013



# OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Robert Rotkirch

Koulutusohjelma ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Käyttö- ja energiatekniikka

Ohjaajat: Holger Sved (Novia), Lasse Hyny (Vacon)

Nimike: *Kokoonpanolinjan rakennus ja optimointi*

---

Päivämäärä: 20.3.2013

Sivumäärä: 91

---

## Tiivistelmä

Opinnäytetyö oli osa Vacon Oyj:n Vaasan tehtaan pinta-alan tehostamisprojektia. Tämän työn tarkoituksena oli suunnitella, rakentaa ja optimoida monikäyttöinen kokoonpanolinja A1- ja B1-tuoteperheiden taajuusmuuttajille. Linjasta käytetään nimitystä kombilinja, koska se soveltuu useiden tuoteperheiden valmistukseen, saman kokoluokan sisällä.

Työn tavoitteena oli toteuttaa kombilinja, jolloin saataisiin merkittäviä parannuksia tehtaan tilankäyttöön, tuotannon joustavuuteen ja testauksen käyttöasteeseen. Lisäksi tulisi optimoida asetus aika tuoteperheen vaihdon tapahtuessa ja pilotoida uusi linjanrakennuksen toimintamalli.

Työ koostuu kolmesta osasta. Ensimmäisessä osassa käsitellään tuotannon, työntutkimuksen, ergonomian ja muiden kokoonpanolinjoihin liittyvien osa-alueiden teoriaa. Lisäksi tutustutaan Lean-tuotannon filosofiaan, käsitellen Toyota Wayn neljää peruspilaria. Toisessa osassa tutustutaan Vacon Oyj:hin ja yhtiön Vaasan tehtaaseen, sen tuotantoon ja linjasuunnitteluun. Myös kombilinjalle tulevan tuoteperheen, A1:n, olemassa olevaa kokoonpanolinjaa ja sen toimintaa kuvaillaan tarkemmin. Kolmannessa osassa käydään läpi käytännön työn edistyminen ja ongelmakohtien analysointi sekä tehdyt ratkaisut. Myös asetus aikaa tuoteperheen vaihdolle sekä kokoonpanolinjan ergonomiaa tutkitaan ja lisäksi linjanrakennuksen konsepti pilotoidaan.

Työn tuloksena saatiin tuotannollisesti joustava ja tilankäytöltään tehokas kokoonpanolinja. Kombilinjalla monikäyttöisyydestä johtuen myös testauksen käyttöastetta saadaan teoriassa nostettua tuoteperheenvaihtojen ansiosta. Kombilinjalla tuotantoon siirron myöhäisyydestä johtuen, osa konkreettisista tuloksista jäi kuitenkin saamatta tämän opinnäytetyön puitteissa.

---

Kieli: suomi

Avainsanat: kokoonpanolinja, rakennus, optimointi

---

Arkistoidaan: Opinnäytetyö on saatavilla joko ammattikorkeakoulujen verkkokirjastossa, Theseus.fi, tai Vaasan tiedekirjastossa, Tritoniassa.

## EXAMENSARBETE

Författare: Robert Rotkirch

Utbildningsprogram och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa

Inriktning/alternativ/Fördjupning: Drifts- och energiteknik

Handledare: Holger Sved (Novia), Lasse Hyny (Vacon)

Titel: *Konstruktion och optimering av monteringslinje*

---

Datum: 20.3.2013

Sidantal: 91

---

### Abstrakt

Examensarbetet var en del av Vacon Abp:s projekt med syfte att effektivisera ytanvändningen hos fabriken i Vasa. Syftet med detta arbete var att planera, konstruera och optimera en flexibel monteringslinje för A1- och B1-produktfamiljernas frekvensomvandlare. Monteringslinjen kallas kombilinjje på grund av att den lämpar sig för tillverkning av flera produktfamiljer inom samma storleksklass.

Målsättningen med arbetet var att implementera kombilinjjen och därmed få markanta förbättringar angående fabriken ytanvändning, flexibiliteten i produktionen och testningens nyttograd. Därtill skulle man optimera installeringstiden vid byte av produktfamilj och pilotera en ny verksamhetsmodell för konstruktion av monteringslinjer.

Detta arbete består av tre delar. I första delen behandlas teori angående produktion, arbetsundersökning, ergonomi och andra delområden som relaterar till monteringslinjer i allmänhet. Även Lean-produktionens filosofi utforskas, genom att granska de fyra grundpelarna i Toyota Way. I andra delen utforskas Vacon Abp och företagets fabrik i Vasa, dess produktion och linjeplanering. A1-monteringslinjen, som skall förflyttas till kombilinjjen, beskrivs också närmare. I tredje delen redogörs för framskridandet av det praktiska arbetet och analysen av problem samt lösningar till dessa. Ställtiden för produktfamiljerna och ergonomin hos monteringslinjen undersöks samt konceptet för konstruktion av linjer piloteras.

Som resultat fås en flexibel och kompakt monteringslinje. Tack vare linjens utformning för flera produkter kan även testningens nyttograd höjas i teorin. En del konkreta resultat utblev från detta examensarbete, pga. att monteringslinjens ibruktagande fördröjdes.

---

Språk: finska

Nyckelord: monteringslinje, konstruktion, optimering

---

Förvaras: Examensarbetet finns tillgängligt antingen i yrkeshögskolornas webbibliotek Theus.fi eller vid Vasa vetenskapliga bibliotek, Tritonia.

# BACHELOR'S THESIS

Author: Robert Rotkirch

Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Vaasa

Specialization: Operational and Energy Technology

Supervisors: Holger Sved (Novia), Lasse Hyny (Vacon)

Title: *Construction and optimisation of assembly line*

---

Date: 20.3.2013

Number of pages: 91

---

## Abstract

This thesis was a part of a project at Vacon Plc in improving space usage at the factory in Vaasa. The purpose of this task was to design, construct and optimise a versatile assembly line for the product families of A1 and B1 frequency converters. The assembly line is named combi line, due to its aptitude for several product families within the same size range.

The objective was to implement the combi line in order to achieve significant improvements in space usage, production flexibility and utilisation rate of product testing at the factory in Vaasa. Furthermore, the setup time was to be optimized when a change of product families was executed and also a new approach in constructing assembly lines was to be piloted.

This thesis consists of three parts. In the first part, the basics of production, work studies, ergonomics and other aspects that relate to assembly lines are discussed. Also, the philosophy of Lean production is reviewed regarding the four fundamental pillars of The Toyota Way. In the second part Vacon Plc and the production and assembly line design of the factory in Vaasa are studied more closely. The manufacturing of product family A1 and its assembly line, which will be moved to the combi line, are also examined in more detail. In the third part the progress of the practical work is reviewed with analyses and solutions of encountered problem cases. The setup time for a product family and assembly ergonomics are examined in addition to piloting the concept of constructing assembly lines.

The result is a flexible and space-efficient assembly line. Thanks to the versatility of the assembly line, it is in theory possible to increase the utilisation rate of product testing. Due to the delay of full scale production at the combi line, some of the substantial results are not available for this thesis.

---

Language: Finnish

Key words: assembly line, construction, optimisation

---

Filed at: The Bachelor's thesis is available either at the electronic library Theseus.fi or Vaasa Academic Library, Tritonia.

# TIIVISTELMÄ

## ABSTRAKT

## ABSTRACT

## SISÄLLYS

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

1. JOHDANTO	1
<b>1.1. Taustaa</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Ongelma-alue ja tehtävä</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset</b>	<b>3</b>
<b>1.4. Tutkimuksen jäsentely ja rakenne</b>	<b>4</b>
2. TEORIA	5
<b>2.1. Tuotanto</b>	<b>5</b>
2.1.1. Tuotannon kehitysvaiheet	5
2.1.2. Tuotannon rooli yrityksessä	7
2.1.3. Tuotannonohjaus	8
2.1.4. Kapasiteetin käsitteet	9
2.1.5. Työnkulun ja työnajan perusteet	11
2.1.6. Läpäisyajan merkitys ja sen lyhentäminen tuotantojärjestelmässä	13
2.1.7. Eräkoon ja asetusajan pienentäminen tuotannon eduksi	16
2.1.8. Laatu erityisalana ja johtamisjärjestelmänä, laatujohtamisen nousu Japanissa	17
<b>2.2. Tehtaan layout ja valmistusvirta</b>	<b>19</b>
2.2.1. Funktionaalinen layout	20
2.2.2. Tuotantolinja-layout	22
2.2.3. Solu-layout	24
<b>2.3. Kokoonpano</b>	<b>26</b>
2.3.1. Kokoonpanon määrittely	26
2.3.2. Kokoonpanojärjestelmät	26
2.3.3. Manuaalisen kokoonpanon kehittäminen	28
<b>2.4. Logistiikka</b>	<b>30</b>
2.4.1. Materiaalihallinta	31
2.4.2. Varastojen tarkoitus, minimointi ja luokittelu	32
2.4.3. Varastovalvonta, menetelmiä ja tunnuslukuja	35
<b>2.5. Ergonomia</b>	<b>36</b>

2.5.1.	<i>Ergonomia, tavoitteet ja käsitteet</i>	36
2.5.2.	<i>Ergonomia lainsäädännössä</i>	37
2.5.3.	<i>Ergonomian tarkastelukohteita työjärjestelmässä</i>	38
2.5.4.	<i>Fyysisen työn piirteitä</i>	40
<b>2.6.</b>	<b>Työn tutkiminen</b>	<b>43</b>
2.6.1.	<i>Työntutkimuksen kokonaisuus</i>	44
2.6.2.	<i>Työntutkimuksen hyödyt</i>	45
2.6.3.	<i>Työnmittauksen käsitteitä</i>	46
<b>2.7.</b>	<b>Toyota Production System ja Lean production</b>	<b>49</b>
2.7.1.	<i>Filosofia – pitkän tähtäimen ajattelu</i>	49
2.7.2.	<i>Prosessit – tuhlauksen eliminointi</i>	50
2.7.3.	<i>Työntekijät ja yhteistyökumppanit – kunnioita: haasta ja anna kasvaa</i>	53
2.7.4.	<i>Ongelmanratkaisu – jatkuva kehittyminen, jatkuva oppiminen</i>	55
<b>2.8.</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>58</b>
<b>3.</b>	<b>LÄHTÖTILANNE</b>	<b>59</b>
3.1.	<b>Vacon Oyj</b>	<b>59</b>
3.2.	<b>Vaasan tehtaan tuotanto</b>	<b>60</b>
3.3.	<b>Vaasan tehtaan kehityskohteita</b>	<b>63</b>
3.4.	<b>Nykyinen A1-linja</b>	<b>64</b>
<b>4.</b>	<b>TOTEUTUS</b>	<b>65</b>
4.1.	<b>Olemassa oleviin linjoihin tutustuminen</b>	<b>65</b>
4.2.	<b>Palautteen kerääminen linjoilta</b>	<b>65</b>
4.3.	<b>Kehityskohteita nykyisellä linjalla</b>	<b>66</b>
4.4.	<b>Nykyisen linjan työaikatutkimus</b>	<b>68</b>
4.5.	<b>Nykyisen linjan ergonomiatutkimus</b>	<b>69</b>
4.6.	<b>Kombilinja toteutus</b>	<b>69</b>
4.7.	<b>Tuotevaihdon määrittely</b>	<b>74</b>
4.8.	<b>Tutkimuksen rajausta ja ajatusmalli</b>	<b>76</b>
4.9.	<b>Tuotevaihdon tutkiminen</b>	<b>77</b>
<b>5.</b>	<b>TYÖN TULOKSET</b>	<b>80</b>
5.1.	<b>Työaikatutkimuksen tulokset</b>	<b>80</b>
5.2.	<b>Ergonomiatutkimuksen tulokset</b>	<b>81</b>
5.3.	<b>Pinta-alan muutos</b>	<b>83</b>
5.4.	<b>Tuotevaihdon tulokset</b>	<b>84</b>
5.5.	<b>Linjan palaute kombilinja toteutuksesta</b>	<b>85</b>

6. TAVOITTEIDEN JA TULOSTEN ARVIOINTI	87
7. LOPPUSANAT	90
LÄHDELUETTELO	91

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1.	Vaconin logo	1
Kuva 2.	Kuormitusasteen yhtälö	10
Kuva 3.	Esimerkki teräsrakenteen työnkulusta, keskittyen valmistusprosessiin	11
Kuva 4.	Työajan jakautuminen	12
Kuva 5.	Tilauksen läpäisy aikaan vaikuttavat toiminnot	13
Kuva 6.	Vertailu pitkän ja lyhyen läpäisyajan välillä	15
Kuva 7.	Funktionaalinen layout	21
Kuva 8.	Tuotantolinja-layout	22
Kuva 9.	Tahti- ja epätahtilinja	23
Kuva 10.	Solu-layout	24
Kuva 11.	Kokoonpanolinja, jossa työntekijöillä melkein oma tehtäväkenttensä	27
Kuva 12.	Kokoonpanolinja, jossa työryhmä siirtyy tuotteen mukana	28
Kuva 13.	Varastotason vaikutus kustannuksiin	32
Kuva 14.	Asetusaikojen alentamisen vaikutus taloudelliseen eräkokoon	34
Kuva 15.	Varaston kiertonopeuden kaava	35
Kuva 16.	Varaston riittävyyden kaava	36
Kuva 17.	MAT-luvun kaava	36
Kuva 18.	Ranteen kulmat erilaisia työkaluja käytettäessä	41
Kuva 19.	Ihmisen ulottuvuusalueet vaakatasossa työpöydällä	42
Kuva 20.	Ihmisen pystysuorat ulottuvuusalueet työpöydällä	42
Kuva 21.	Henkilötyön jakautuminen aikalajeihin	46
Kuva 22a.	Oppimiskäyrän kaava	47
Kuva 22b.	Kaavio oppimiskäyrästä	47
Kuva 23.	Kartta Vaconin maakohtaisista toimipisteistä	59
Kuva 24.	Vacon 100-tuoteperhe	60
Kuva 25.	Vaconin Vaasan tehdas Runsorissa	61
Kuva 26.	Kokoonpanopiste Vaconilla	62
Kuva 27.	Atlas Copcon suora Tensor-väännin	66
Kuva 28a-b.	Pistoolimallisen ja suoran työkalun käytön vaikutus ranteen asentoon	67
Kuva 29.	Atlas Copcon suora työkalu, kevennin ja momenttivarsi asennettuna	68
Kuva 30.	Työpisteen korkeussäätimen käyttöä selventävät symbolit	71



Kuva 31.	Havainnekuva Vaconin hyllylappupohjasta	72
Kuva 32.	Jäteastian kannattimen prototyyppi	73
Kuva 33.	Kuormalavahylly pitkillä ja lyhyillä palkeilla	74
Kuva 34.	Havainnekuva SMED:n menetelmästä ja käytännön tekniikoista	75
Kuva 35.	Indeksoidut työvaiheiden kestot	80

Taulukko 1.	Vertailu funktionaalisen ja tuotantolinja-layoutin ominaisuuksista	23
Taulukko 2.	Teknistymisen asteet.	39
Taulukko 3.	Mitta-arvot asetusajalle	78
Taulukko 4.	Linjan asetus aika osa-alueittain, apuaika huomioiden.	85

## KÄYTETYT KÄSITTEET JA LYHENTEET

moduli	itsenäinen osa, josta voidaan koota erilaisia kokonaisuuksia. Moduuleista koostuva kokonaisuus on modulaarinen
pilotti	laajaa tutkimusta edeltävä vaihe, jossa pienessä mittakaavassa tutkitaan kohteen soveltuvuutta käytäntöön
lavatavara	materiaalia, joka tulee kuormalavalla
hyllykantopalvelu	toimittaja vie materiaalin suoraan käyttöpaikalle
DHL	tehtaan logistiikan hoitava kuljetus- ja logistiikkayhtiö
Tensor	Atlas Copcon älykäs momenttiväännin
suora kone	ruuvinväännin, jonka kahva on yhdensuuntainen vääntimen akselin kanssa
pistoolikone	ruuvinväännin, jonka kahva on poikittain vääntimen akselin kanssa
RIP-hylly	materiaalihylly, jossa materiaali odottaa käyttöä
KET	lyhenne sanoista keskeneräinen tuotanto
etuhylly	kokoonpanijan edessä oleva materiaalihylly
FIFO	First in, first out – materiaalin kierron varmistaminen
TQM	Total Quality Management - laadun kokonaishallinta, jossa laadunvarmistus on jokaisen työntekijän vastuulla
TPS	Toyota Production System – Toyotan tuotantojärjestelmä, esimerkiksi kevyt ja joustava teollinen tuotantojärjestelmä
MTM	Method-Time Measurements – liikeaikajärjestelmä jota käytetään työaikatutkimuksissa

## 1. JOHDANTO

### 1.1. Taustaa

*”Kansainvälinen kilpailu on avoimempaa kuin koskaan aiemmin. Teknologian kehitys on vauhdittanut tuotekehitystä. Tuotevariaatioiden määrä on kasvanut ja tuotteita myös räätälöidään entistä enemmän yksittäisten asiakkaiden tarpeiden mukaan. Yritykset pyrkivät keskittymään toimintaan, joissa ne ovat erityisen hyviä ja joiden avulla ne voivat tuottaa asiakkailleen lisäarvoa. Monet yritysten aiemmin valmistamat tuotteen osat ja palvelut pyritään ulkoistamaan ja hankkimaan ulkopuolisilta yhteistyökumppaneilta.” (Heikkilä & Ketokivi 2009, s. 17).*

Vacon Oyj, josta myöhemmin käytetään nimeä Vacon, on osana yhä kiristyvää maailmataloudellista tilannetta, jossa jatkuva kehittyminen yrityksenä on elintärkeää, jotta pysytään kilpailukykyisenä. Tuotantokustannukset on pidettävä kohtuullisina verrattuna kilpailijoihin, jotka pystyvät myymään tuotteitaan halvemmalla, koska valmistus- ja henkilökustannukset ovat Vaconia alhaisemmat. Samalla tuotteita on pystyttävä tarjoamaan laajalle skaalalle asiakkaita ja käyttökohteita kuitenkin tuhlaamatta resursseja tuotteisiin, jotka eivät myy. Myös lupauksen pitäminen, toimitusvarmuuden ja laadunvarmistuksen muodossa, on erittäin tärkeää, jotta asiakas saa tuotteensa luvattuna hetkenä ja luvattun laadun mukaisessa kunnossa. Nämä kriteerit yhdistettynä globaaliin läsnäoloon, yhteiskuntavastuuseen ja sijoittajamyönteiseen toimintaan antavat hieman kuvaa siitä, kuinka kovaa ja monipuolista kilpailua yritysmaailmassa käydään.



*Kuva 1. Vaconin logo. (Vacon kotisivu).*

Vacon on sitoutunut pitkäjänteisen kehityksen takaamiseen toimialallaan. Yritys on kasvanut viime vuosina noin kaksi kertaa markkinoita nopeammin pysyen samaan aikaan kannattavana. (Vacon kotisivu, Vacon strategia). Markkinoiden kasvua lupaavat energiansäästökohteiden etsintä ja energiantuoton kehittäminen uusiutuvista energialähteistä. Syitä näihin trendeihin ovat energian jatkuva kallistuminen ja maailmanlaajuiset päästöjen alentamiset.

Myynnin etuina ovat tuotteiden monipuoliset käyttökohteet sekä yrityksen keskittyminen taajuusmuuttajiin.

Vaconin strategisena tavoitteena on saavuttaa 2014 mennessä 500 miljoonan euron liikevaihto (v. 2011 380 miljoonaa euroa), 14 %:n liikevoitto (6,5 %) ja yli 30 %:n oman pääoman tuotto (18,7 %). Saavuttaakseen nämä tavoitteet, yhtiö aikoo parantaa kannattavuuttaan siirtämällä komponenttien ja osavalmisteiden hankinnan halvemmän kustannustason maihin, saamalla kustannushyötyä uuden tuotesukupolven myötä, nostamalla myyntivolyymeja ja karsimalla kuluja. (Vacon kotisivu, Vacon strategia).

## **1.2. Ongelma-alue ja tehtävä**

Vaasan tehtaalla työntekijöitä on n. 600 henkeä, josta tuotantotyöntekijöitten osuus on n. 400 henkeä. Tehtaalla on 14 eri tuotantolinjaa. Tuotannon pinta-ala on reilut 25 000 m<sup>2</sup>. Vaconin kulmakiviä tuotannon puolella ovat tehokkuus, joustavuus ja henkilöstön monipuolinen osaaminen. Uuden tuotesukupolven esimerkkiä seuraten, tuotteen toimitusaikaa on lyhennettävä.

Tehtaalla on käynnistetty laajat kehityshankkeet, jotka keskittyvät näiden kulmakivien kehittämiseen. Merkittäviä kehityskohteita ovat pinta-alan käytön tehostaminen ja tuotevaihtoja mahdollistava tuotantolinja. Nämä kaksi kehityskohdetta yhdistyvät uuden yhdistelmälinjan (lue kombilinja) pilotoinnissa, johon tämä opinnäytetyö keskittyy.

Vaconin Vaasan tehtaalla valmistetaan tällä hetkellä suurimmaksi osaksi 1-2 tuoteperhettä per linja. Jokaisen laitteen toiminta testataan kokoonpanon jälkeen, ennen pakkausta ja asiakkaalle toimitusta. Kysynnän vaihtelu eri tuotteiden välillä aiheuttaa epätasapainoa linjojen kesken. Osalla tuotteista on tasainen menekki, osalla taas sesonkiluonteista ja osalla hyvin satunnaista menekkiä jne.

Testauksen käyttöaste on myös epätasapainossa, mikä johtuu erilaisista myyntivolyymeista ja ”yksi tuoteperhe – yksi linja” – periaatteesta. Käyttöasteen tasoittaminen olisi toivottavaa ottaen huomioon testausyksiköiden hankintakustannukset. Myös kapasiteetin siirto yhdeltä tuotantolinjalta toiselle myynnin mukaan olisi toivottavaa, jotta ehkäistäisiin pullonkaulojen syntyminen. Nämä ongelmakohdat, yhdistettyinä tehtaan pinta-alan käytön tehostamiseen,

loivat ajatuksen yhdistelmälinjasta, josta käytetään jatkossa nimitystä kombilinja. Yksi kombilinasolu koostuu kahdesta itsenäisestä kombilinjasta, joiden toimintaperiaate poikkeaa merkittävästi nykyisistä Vaconin tuotantolinjoista.

### **1.3. Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on

- rakentaa kombilinja sekä asentaa tuotantokalusteet ja työkalut
- kehittää toimiva materiaalikäsitteily tuotteelle A1
- optimoida asetus aika tuoteperheen vaihdon tapahtuessa
- optimoida tilankäyttö
- optimoida testauksen käyttöaste
- pilotoida uusi toimintamalli

Vaconilla ei ole ollut yhtä konseptia, jonka mukaan tuotantolinjoja olisi rakennettu, vaan tuotantolinjat ovat rakentuneet yleensä tuoteperheen ympärille, tuotantokalusteiden saatavuuden sekä linjan työntekijöiden ja perehdyttäjien mieltymysten mukaan. Lisäksi tuotantolinjan rakentamisen suurin haittatekijä on kiire, jonka myötä linjan toimivuus ja joustavuus jää yleensä huomiotta. Näiden syiden takia tehtaalla on ergonomisesti hyvin erilaisia ratkaisuja. Lisäksi tuotantolinjoissa voi olla rakenteellisia pullonkauloja, kapasiteettiesteitä, ergonomisesti huonoja sovellutuksia sekä pinta-alan käyttö on usein tehotonta.

Kombilinjän käyttöönotto loisi standardin, jonka mukaan tuotantolinjoja toteutettaisiin tehtaalla ja sitä kautta saataisiin tehostettua materiaalikäsitteilyä, parempaa pinta-alan hyötykäyttöä, korkeampaa kapasiteettia ja joustavuutta, parempaa työergonomiaa ja virtaviivaisempaa tuotantoa. Kombilinjän pilotointi koskee tuotteen A1 mukaan tehtävää kokoonpanolinjaa, jossa on mahdollista tehdä tuoteperheen vaihto saman kokoluokan laitteille. Tämä opinnäytetyö rajoittuu tuotteen A1 pilotointiin kombilinasolussa, käsittäen myös pilotointiin liittyvien tietojen keräyksen, toiminnan kehittämisen näiden tietojen pohjalta sekä saatujen tulosten arviointiin.

#### **1.4. Tutkimuksen jäsentely ja rakenne**

Käytännön työ jakautui eri vaiheisiin. Aluksi tutustuttiin tehtaan muihin linjoihin, niiden materiaalinkäsittelyyn sekä työpisteisiin ja dokumentoitiin käyttökelpoisia sovelluksia. Tämän jälkeen tehtiin nykytila-analyysi (SWOT-analyysi) linjoilla, joita pilotointi koskee ja kerättiin kehitysideoita työntekijöiltä. Samalla tutustuttiin yleisesti tuotantolinjaan ja tuotteen tekemiseen sekä tekemällä kartoitusta ergonomian kipupisteistä konsultoimalla fysioterapeuttia. Seuraavaksi siirryttiin itse kombilinjan rakennukseen ja suunnitteluun, jolloin otettiin huomioon parannusehdotukset nykytila-analyyseista ja ergonomiakartoituksesta. Lisäksi työntekijöiltä ja perehdyttäjiltä kerättiin palautetta rakennuksen ja suunnittelun aikana kombilinjan toimivuudesta ja toteutettiin muutoksia ja parannuksia työn edetessä. Kombilinjan valmistumisen loppuvaiheessa perehdyttäjät suorittivat kokoonpanoa ja antoivat palautetta toimivuudesta. Tämän jälkeen simuloitiin tuoteperheen vaihtoja sekä mitattiin pinta-alan käyttöä. Lopputulokset mittauksista koottiin ja arvioitiin tuloksia verrattuna tavoitteeseen. Tämä opinnäytetyö raportoi työn toteutuksesta ja tulosten analysoinnista tuotannon siirtämiseen kombilinjalle saakka.

## 2. TEORIA

Tässä kappaleessa luodaan katsaus tuotannon käsitteisiin sekä sen eri osa-alueisiin. Tuotantoon sekä kokoonpanoon läheisesti liittyvät aiheet, kuten ergonomia ja työn tutkiminen käsitellään omina kokonaisuuksina. Kappaleen viimeisessä luvussa käsitellään Lean-tuotannon erityispiirteitä ja filosofiaa.

### 2.1. Tuotanto

#### 2.1.1. *Tuotannon kehitysvaiheet*

Tuotannon periaatteet ovat kehittyneet huomattavasti teollisen toiminnan alkuaajoista eri kilpailutilanteisiin ja yhteiskunnallisiin tilanteisiin sopiviksi. Ensiaskeleet kohti tuotantojärjestelmää otettiin Englannissa 1750-luvulla, työnjaon kautta. Skotlantilainen filosofi ja talouspioneer Adam Smith (1723–1790) julkaisema kirja ”Kansojen varallisuus” vuodelta 1776 toi esille työnjaon ja erikoistumisen teollisen tuotannon perustana. Tämän mukaan yrityksen tuotannon tasolla jokainen työntekijä koulutetaan osaamaan pieni osaa valmistusprosessista. (Miettinen 1993, s. 9). Esimerkkinä Smith käytti neulojen valmistusta, joka työnjaon kautta mahdollisti 240-kertaisen tuotannon. Tämän seurauksena neulojen hinta romahti ja niiden kysyntä lisääntyi. Työnjako levisi muille teollisuuden aloille ja loi työtä ammattitaidottomille ihmisille. Työnjako nopeutti brittiläisen teollisuuden kasvua, joka vuorostaan johti kansalliseen vaurauteen ja yksilöiden elintason nousuun. (Shingo 1992, s. 7; Miettinen 1993, s. 9; Uusi-Rauva, Haverila, Kouri & Miettinen 2003, s. 308–309).

Yhdysvaltalaiset johtajat omaksuivat 1880-luvulla idean työläisten perinpohjaisesta laiskuudesta. He kehittivät tulospalkkiojärjestelmän, urakkatyön, kannustaakseen työläisiä tekemään vaikeita töitä. Tehokkuus lisääntyi ja kulut laskivat, vaikka tehtävien ja ajankäytön suhteen oli epämääräisiä käytäntöjä. Työläisten innostus putosi kuitenkin samaan aikaan jyrkästi, ja tehokkuus laski järjestelmällisen laiskuuden ja työn välttelyn levitessä. (Shingo 1992, s. 8).

Yhdysvaltalainen teknikko Frederick W. Taylor (1856–1915) teki samoihin aikoihin johtopäätöksen, että ongelman ydin ovat tieteellisten työstandardien puute. Hän kehitti aikatutkimusjärjestelmän, tutki työhön vaikuttavia muuttujia ja teki kokeita työtehtävien ja työaikojen

standardoinnin kanssa. Taylor tuki tätä aikaansaannostaan tutkimalla työn ja väsymyksen luonnetta ihmisen näkökulmasta. Hän kehitti ”tieteellisen liikkeenjohdon”, joka keskittyi massatuotannon kehittämiseen tehostamalla yksittäisiä prosesseja. (Shingo 1992, s. 9; Liker 2009, s. 26).

Frank B. Gilbreth (1868–1924), yhdysvaltalainen liiketutkimuksen pioneeri, keksi yhdessä vaimonsa Lillianin kanssa liikkeen taloudellisuuden periaatteet 1880-luvulla. He jatkoivat työtään kehittämällä nimeämänsä ”liikkeen taloudellisuustieteen”, joka sisälsi perusviitekehysten työnteon parantamiselle liikkeiden taloudellisuuden kautta. Gilbrethien mukaan liikkeet voidaan pelkistää 16 luokkaan, kuten etsiä, löytää, tarttua, tarkastaa jne. (Price 1990, s. 64; Shingo 1992, s. 9).

Näiden teorioiden ja tutkimusten avulla teollinen massatuotanto lähti nousuun 1800- ja 1900-lukujen taitteessa. Lippulaivana toimi Ford Motor Company, jonka merkittävin yksittäinen keksintö oli liukuhihna. Yhtiön perustaja Henry Ford standardoi valmistuksessa käytettävät osat ja jakoi työn yksinkertaisiin, nopeisiin vaiheisiin, jotka jaettiin työntekijöiden kesken liukuhihnan äärellä. Sarjatuotannon ansiosta valmistuskustannukset romahtivat parissa vuosikymmenessä murto-osaan. Hinnan alenemisen ansiosta auto myös tuli tavallisen työläisen ulottuville. Sarjatuotanto, liukuhihna ja uudet organisointitavat levisivät nopeasti muille aloille. Elintaso kasvoi 1900-luvulla nopeasti teollisen massatuotannon ansiosta. (Lehtonen 2004, s. 60).

Lehtosen (2004, s. 60) mukaan teollinen automatisointi alkoi vuosisadan keskivaiheilla, keskittyen prosessien säätämiseen. Samaan aikaan valmistettiin myös ensimmäiset numeerisesti ohjatut työstökoneet, jotka valtasivat alaa 1970-luvulle tultaessa, tietotekniikan yleistymisen avulla. Tuotannossa tietotekniikka automatisoi informaation käsittelyn sekä valmistusprosessien hallinnan. Tuottavuuden vahva kasvu automaation aikaansaamana on hidastanut teollisuustuotteiden tarpeen kasvua verrattaessa niiden tuotannon tehokkuuteen. Lehtonen tuo esille tästä johtuvan tuotantoteollisuuden osuuden vähentymisen bruttokansantuotteesta koko teollistuneessa maailmassa. (Lehtonen 2004, s. 60)



### 2.1.2. Tuotannon rooli yrityksessä

Perinteisesti valmistus ja tuotanto on käsitetty tarkoittavan samaa asiaa, johtuen valmistuksen tärkeästä roolista yrityksessä. Valmistus käsittää materiaalien yhdistämistä tai irrottamista toisistaan sekä niiden olemusta työstävää menettelyä. Tuotannon määritelmää käytetään nykyisin laajemmassa muodossa. Kaikki yrityksen toiminnot, jotka ovat osallisia tuotteen tai palvelun aikaansaamisessa, käsitetään tuotannoksi. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 301–302).

Osana yrityksen toimintaa, Uusi-Rauvan et al. (2003, s. 307) mukaan tuotannolle asetetaan yleisesti katsoen tavoitteita seuraavasti:

- kustannustehokkuus
- laatu
- aika
- joustavuus

(Uusi-Rauva et al. 2003, s. 301–307; Lehtonen 2004, s. 61).

Mainittujen tavoitteiden saavuttamiseksi joudutaan tekemään valintoja. Tuotannon valintojen tulisi perustua kysyntään ja yritysstrategiaan sekä olla yhteensopivia valittujen kilpailu- ja markkinointistrategioitten kanssa. Näitä valintoja nimitetään tuotantostrategisiksi valinnoiksi, joita ovat mm.:

- tuotantoprosessia koskevat valinnat
- tuotantolaitosten sijoitusta ja rakennusta koskevat valinnat
- tuotantokapasiteettia koskevat valinnat

(Uusi-Rauva et al. 2003, s. 300–314; Lehtonen 2004, s. 61).

Tuotantoprosessi, joka mielletään usein keskeisimmäksi toiminnoksi yrityksessä, on usein vaikeimmin hallittava ja kehitettävä alue toiminnanjohtamisessa. Tuotantoprosessin valinta määräytyy tuotantomuotojen perusteella. Uusi-Rauvan et al. (2003, s. 303) mukaan tuotantomuodot luovat edellytykset tuotannon ohjaamiselle ja johtamiselle sekä tuotantojärjestelmän suunnittelulle. Tuotantoprosessi on harvoin jakautunut useisiin tuotantomuotoihin (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 305). Myöskään laajan valikoiman tuotannossa ei ole järkevää valmistaa kaikkia tuotteita samassa prosessissa (Lehtonen 2004, s. 63). Uusi-Rauvan et al.

(2003, s. 303) mukaan yritys ei voi vapaasti määritellä tuotantomuotoaan, vaan se määräytyy mm. tuotteen mukaan. Erilaisia tuotantoprosesseja ja näitä soveltavia teollisuudenaloja sekä tuotteiden ominaisuuksia ovat esim.:

- projekti – laivojen ja talojen rakentaminen, ainutkertaiset tuotteet
- yksittäistuotanto – koneiden rakentaminen, räätälöidyt tuotteet
- erätuotanto – lääketuotanto ja kirjapaino, toistuvat tuotteet
- joukkotuotanto – autoteollisuus, samankaltaiset tuotteet
- prosessituotanto – petrokemian teollisuus, vakioidut tuotteet

(Uusi-Rauva et al. 2003, s. 300–306; Lehtonen 2004, s. 62–63).

### *2.1.3. Tuotannonohjaus*

Miettisen (1993, s. 23) mukaan yleisesti ohjaukseen kuuluu toiminnan tarvitsema suunnittelu, toteutus, informointi ja valvonta. Yrityksen eri ohjausjärjestelmät voivat käsittää mm. valmistus-, talouden-, materiaalin- ja laadunohjauksen. Nykyään verkostoajattelu on yleistynyt, jolloin eri ohjausjärjestelmiä käsitellään koko yrityksen toimintaa tukevana järjestelmänä. Tuotannonohjaus tarkoittaa tuotantojärjestelmän eri osien – kuten myynnin, markkinoinnin, logistiikan ja valmistuksen – sopeuttamista yhteen tuotannon tavoitteiden saavuttamiseksi. (Miettinen 1993, s. 23).

Uusi-Rauva et al. (2003, s. 346) perustavat tuotannonohjauksen tavoitteet tuotannon yleisiin tavoitteisiin. Tuotannonohjauksella pyritään saavuttamaan nämä tavoitteet hallitsemalla yrityksen resursseja mahdollisimman tehokkaasti. Kapasiteetin kuormitusasteen pitäminen korkealla, toimintaan sitoutetun vaihto-omaisuuden pitäminen alhaisena sekä hyvä toimituskyvyn ylläpito (huolehtia sovitusta toimitusajoista ja lyhyistä läpäisyajoista) ovat keskenään ristiriidassa, joka vaikeuttaa tuotannonohjausta. (Uusi-Rauva 2003, s. 346).

Miettinen (1993, s. 24) määrittelee tuotannon ohjattavuuden olevan tuotantojärjestelmän kyky saavuttaa sen operatiiviset tavoitteet. Määritellyn ohjattavuuden laatu riippuu tuotantoprosessin ja siihen liittyvien resurssien sopeutusmahdollisuuksista esim. uusien tuotteiden kohdalla. Ohjattavuutta analysoimalla, tekijät, jotka vaikuttavat ohjattavuuteen, voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin tekijöihin. Ensiksi mainittua voidaan ohjata ja kehittää, esim. läpimenoaika, tuotevariaatioiden määrä. Viimeksi mainittuun ei voida vaikuttaa ohjauksen kaut-

ta, mutta markkinoinnin ja ohjausperiaatteiden valinnassa ulkoisiin tekijöihin voidaan vaikuttaa jonkun verran. Ulkoisia tekijöitä ovat esim. suhdanteet ja asiakkaan toivomukset. (Miettinen 1993, s. 24).

Miettinen jakaa tuotannonohjauksen toiminnot seuraaviin ryhmiin:

- tuotannonsuunnittelu
- tuotantotekninen suunnittelu
- työnjärjestely
- tehdaspalvelu

(Miettinen 1993, s. 36).

Tuotannonsuunnittelu ottaa huomioon tuotannon mahdollisuudet sekä markkinoiden tarpeet ja jakaa tuotantokapasiteetin kuormituksen tasaisesti, jotta luvatuissa toimitusajoissa pysytään. Yrityksellä tulee olla suuntaa-antava arvio kysynnästä ja kapasiteetista, jotta tuotannonsuunnittelu voidaan ensin karkeasti arvioida ja myöhemmässä vaiheessa luoda tuotanto-ohjelma. Tuotanto-ohjelma on valmistussuunnitelma tuotetasolla, jonka laadinta on erätuotannossa vaativaa useiden tuotevaihtojen johdosta. (Miettinen 1993, s. 36–38).

Tuotantoteknisessä suunnittelussa tehdään tarkka selvitys työnkulusta, suunnitellaan työvälineet ja työmenetelmät sekä tutkitaan työvaiheajat, joita käytetään työn hinnan, kuormituksen ja toimitusaikojen laskennassa (Miettinen 1993, s. 40). Työnjärjestelyssä varmistetaan mm. työvälineitten ja materiaalien saatavuudet, muodostetaan työjonot määrittelemällä työn ajan-kohta ja menetelmä sekä käytetään priorisointia tiettyjen tavoitteiden mukaan eri työpisteissä (Miettinen 1993, s. 41–42). Tehdaspalvelu pitää yrityksen toimintavarmuuden toivotulla, kohtuukustannuksin saavutettavissa olevalla tasolla kunnossapidon, palveluiden ja tuotantoressurssien uusinnan ja kehittämisen kautta (Miettinen 1993, s. 43).

#### 2.1.4. Kapasiteetin käsitteet

Kapasiteetti on mittari, joka kuvaa kykyä tuottaa tuotteita. Kapasiteetti ilmoittaa tuotantoyksikön maksimaalisen suorituskyvyn ajassa, mutta mikäli tuotteiden kapasiteettivaatimukset poikkeavat vain vähän toisistaan, voidaan kapasiteetti ilmaista tuotteina. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 344). Uusi-Rauva et al. poimii esimerkkinä paperiteollisuuden ja betonielementtiteollisuuden kapasiteettiyksiköt tonnia/tunti ja vastaavasti neliometriä/päivä. Jos eri tuotteet vaativat eri määrän kapasiteettia, voidaan se määritellä tuotannon resurssin käyttöaikana, kuten esimerkiksi kokoonpanon kapasiteetti ollessa 160 tuntia/viikko.

Uusi-Rauva et al. (2003, s. 344) kuvaa kuormitusryhmällä kokonaisuutta, jonka kapasiteetti ja kuormitus voidaan nähdä yhtenäisesti. Kuormitusryhmä määritellään ohjaustarpeiden mukaan. Tuotannon hienosuunnittelussa voidaan käyttää tarkempia kuormitusryhmiä, kuten kone- tai työntekijäryhmiä. Tuotannon karkeasuunnittelussa käsitellään suurempia kuormitusryhmiä kuten tuotantolinjaa tai tuoteverstasta, kun taas tehdastasolla voidaan käsitellä koko tehtaan kapasiteettia, esimerkiksi kokonaistyötuntimäärää tai kokonaistuotantomäärää. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 344).

Kapasiteetin ohjaus perustuu työpisteen kapasiteettiin ja kuormitukseen, joka johtuu suunnitelluista töistä. Kuormitus antaa kapasiteetin, jonka suunniteltu tuotanto vaatii. Kuormitusaste annetulla ajanjaksolla saadaan suunnitellun ja toteutuneen kuormituksen suhteesta käytettävissä olevaan enimmäiskapasiteettiin. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 344–345).

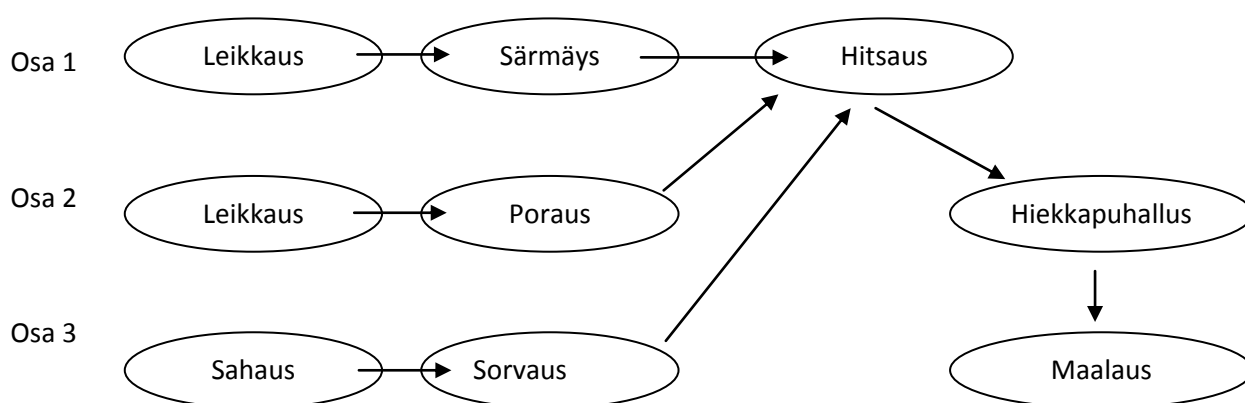
$$\text{Kuormitusaste} = \frac{\text{toteutunut kuormitus} \times 100\%}{\text{kapasiteetti}}$$

Kuva 2. Kuormitusasteen yhtälö (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 344).

Todellisesta käytettävissä olevasta kapasiteetista käytetään nimitystä nettokapasiteetti. Nettokapasiteetti voi olla selvästi matalampi kuin teoreettinen maksimikapasiteetti. Tämä johtuu esim. sairauksista, huoltotöistä, konerikoista ja materiaalipuutteista, jotka vähentävät kapasiteettia. Nettokapasiteetti voi olla jopa 60–90 % teoreettisesta maksimikapasiteetista. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 345).

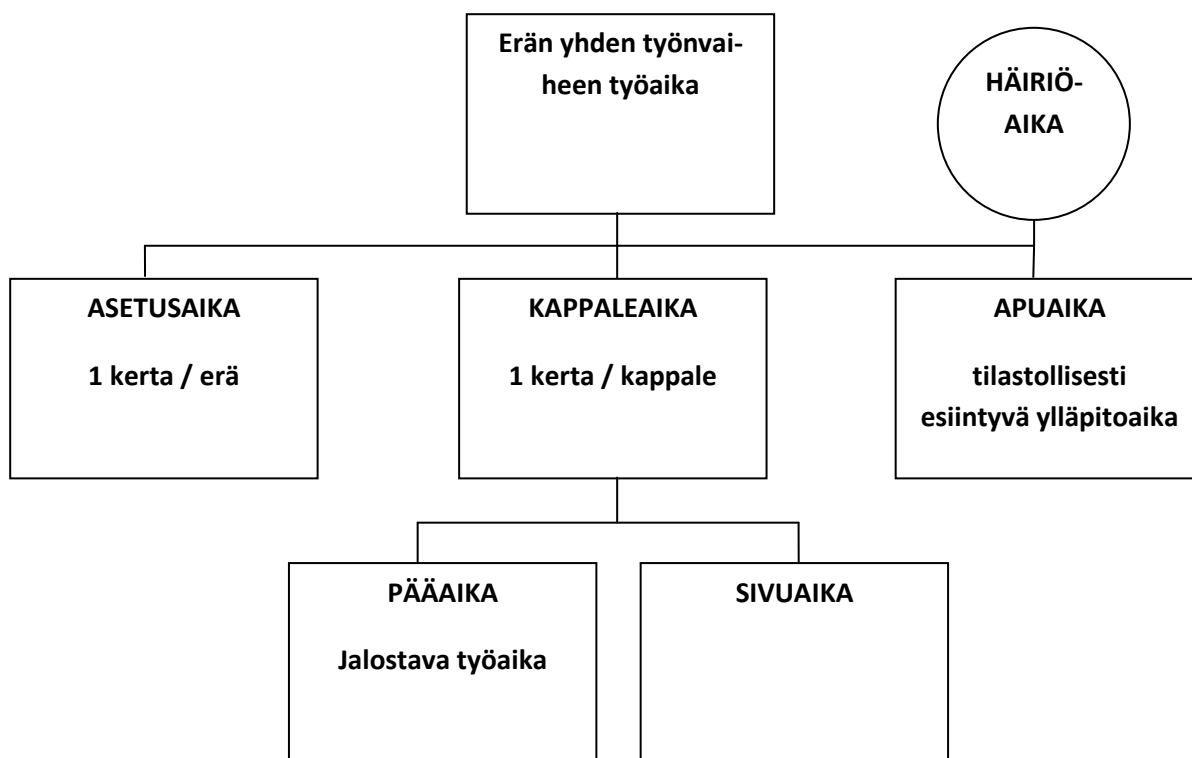
### 2.1.5. Työnkulun ja työajan perusteet

Työvaihe on työkokonaisuus, joka yhtäjaksoisesti voidaan tehdä yhdellä työpaikalla saman henkilöstön tekemänä. Työvaiheiden välissä voi olla muita toimenpiteitä, esim. kuljetuksia, tarkastuksia ja odotusta. Työvaihe vaatii ohjausimpulssin, joka riittää käynnistämään kaikki vaiheen eri osat. Työnkulun muodostavat peräkkäiset työvaiheet. Työvaihe- ja työkulukuvioilla voidaan havainnollistaa työnkulkua. (Lapinleimu 1997, s. 47–48). Lapinleimun mukaan (1997, s. 48) työnkulku määrittelee valmistusjärjestelmän suunnittelun, kuten kuvassa alla.



Kuva 3. Esimerkki teräsrakenteen työnkulusta, keskittyen valmistusprosessiin (Lapinleimu 1997, s. 48)

Työvaiheen työaika jakaantuu kappaleaikaan, apuaikaan, asetus aikaan ja häiriöaikaan. Havainnollistava kuva alla.



Kuva 4. Työajan jakautuminen (Lapinleimu 1997, s. 50)

Kappaleaika koostuu pääajasta ja sivuajasta. Pääaikana tapahtuu varsinainen jalostus, jolloin tuotteen arvoa nostetaan. Sivuaikana tapahtuu työkappaleen tuominen työpisteelle ja kiinnittäminen, työkaluvaihdot, mittaukset, työkappaleen irrottaminen ja siirtäminen työpisteeltä. (Lapinleimu 1997, s. 51)

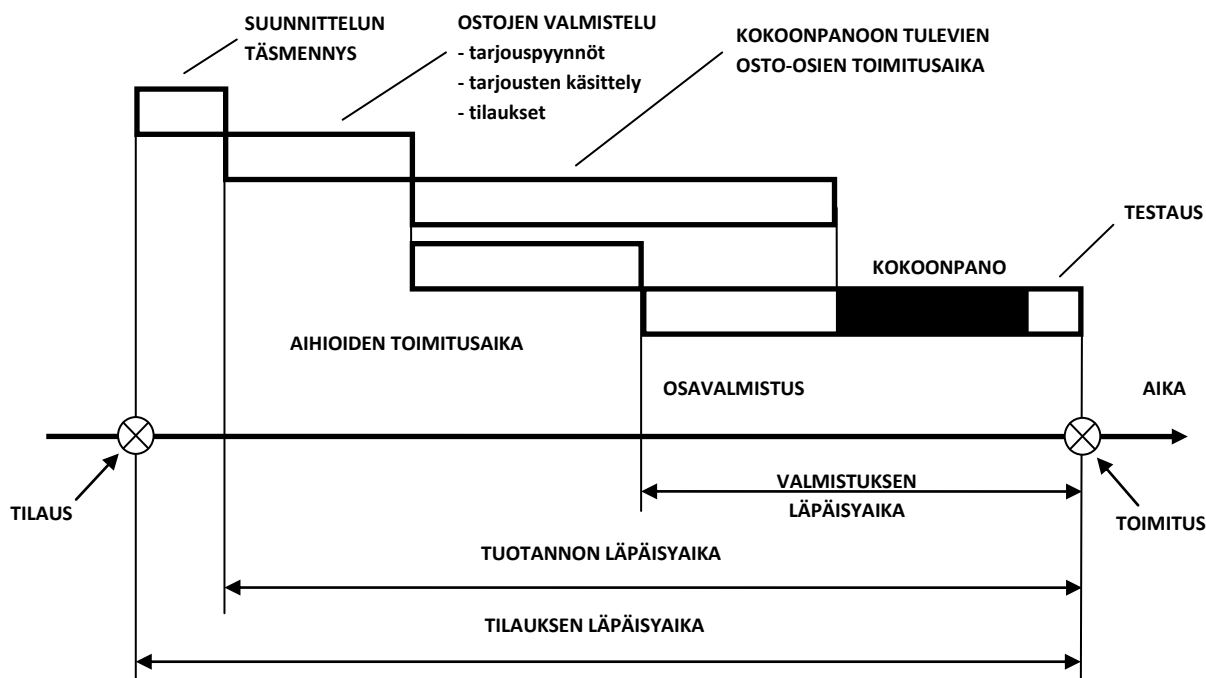
Apu aika kuuluu nykyaikaisessa tuotannossa tuotantoedellytysten ylläpitoon kuluvaan aikaan (Lapinleimu 1997, s. 51). Ahokas, Tiihonen, Neuvonen & Suikki (2011, s. 11) määrittelee apuajan koostuvan erilaisista välttämättömistä aputehtävistä, jotka liittyvät työhön, sekä henkilökohtaisista toiminnoista omiin tarpeisiin ja muunlaiseen palautumiseen. Aputehtävät eivät suoraan kohenna työn valmistumista, mutta ovat välttämättömiä, jotta pääaikana tapahtuva jalostava työ voisi jatkua. (Lapinleimu 1997, s.51–52; Ahokas, Tiihonen, Neuvonen & Suikki 2011, s. 11).

Asetusaikaan kuuluu tuotevaihtoon liittyvät toimenpiteet. Eränvaihto tapahtuu kerran erää kohti ja se liittyy valmistuksen tuotevaihtoon. Häiriöaika on ennakoimattomia katkoksia työssä, esim. konerikot ja sähkökatkokset. (Lapinleimu 1997, s. 49).

Edellä mainitut työajat kuluttavat kaikki tuotantoyksikön käyttöaikaa, mutta vain pääaikana tuotteen arvo nousee jalostuksen myötä. Automaation avulla voidaan eri aikoja ohjata limit-täin jonkin verran, eli hoitaa pääajan aikana sivu- ja apuaikojen tehtäviä. (Lapinleimu 1997, s. 52).

#### 2.1.6. Läpäisyajan merkitys ja sen lyhentäminen tuotantojärjestelmässä

Lapinleimun (1997, s. 53) mukaan läpäisy aika on yksi tuotantojärjestelmän tehokkuuden tärkeimmistä käsitteistä ja mittareista. Läpäisy aika kuluu jonkin toiminnan alkamisesta sen päättymiseen. Läpäisy aika voidaan määritellä koko tilaukselle, sen valmistukselle, osavalmistukselle tai kokoonpanolle. Lapinleimun mukaan läpäisy aika tilaukselle saadaan yhdistämällä materiaalihankintojen vaatima aika ja valmistuksen läpäisy aika. Vaiheen alkamiseen liittyvät odotukset vaikuttavat suuresti valmistuksen läpäisy aikaan, itse työvaiheitten ollessa usein pieni osa läpäisy ajasta. Vaiheiden lukumäärän kasvaessa kasvaa myös odotusajan määrä. (Lapinleimu 1997, s. 53).



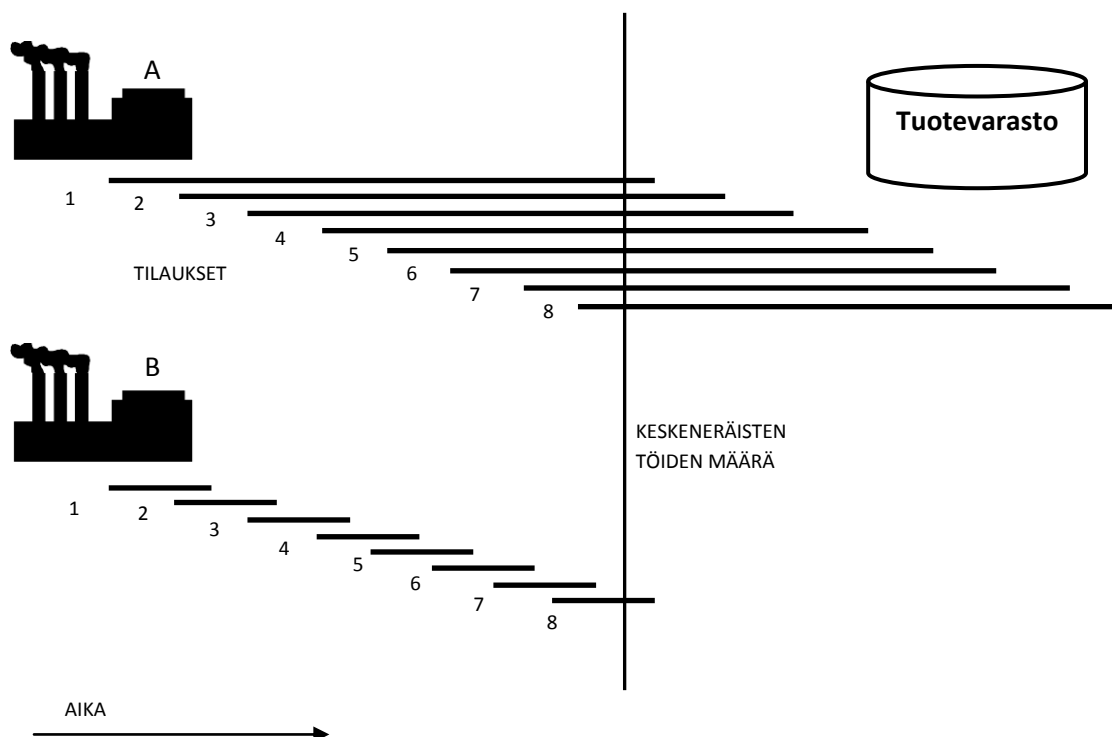
Kuva 5. Tilauksen läpäisy aikaan vaikuttavat toiminnot (Lapinleimu 1997, s. 54).

Lapinleimu (1997, s. 55) toteaa lyhyen läpäisyajan olevan merkki toimivasta, joustavasta ja tehokkaasta tuotantojärjestelmästä. Läpäisy aika on lahjomaton mittari, huonosti toimimalla ei lyhyttä läpäisy aika voi saada aikaan. Lyhyet toimitusajat, pelivara tuotannon ajoituksessa ja ohjattavuuden parantuminen ovat lyhyen läpäisyajan antamat merkittävimmät mahdollisuudet. (Lapinleimu 1997, s. 55)

Uusi-Rauvan et al. (2003, s. 346) mukaan merkittäviä etuja lyhyiden läpäisy aikojen avulla saadaan vähentyneen KETiin sitoutuneen pääoman, toimituskyvyn kehittymisen ja helpottuneen kapasiteetin suunnittelun muodossa. Asiakastilauksen perusteella tapahtuva valmistus (asiakasohjautuva tuotanto) edellyttää valmistuksen läpäisyajan alentamista selvästi haluttua toimitusaikaa lyhyemmäksi. Mikäli toimitusaika ja läpäisy aika ovat samanpituiset, kuormitus tehtaalla seuraa myynnin tahtia, mikä ei ole toivottavaa. Asiakasohjautuvassa valmistuksessa tuotevarastojen tarve poistuu. (Lapinleimu 1997, s. 55; Uusi-Rauva et al. 2003, s. 346–348).

Lyhyen läpäisyajan valmistuksessa pyritään tekemään tilauksia peräkkäin, rinnakkain tekemisen sijaan. Lapinleimu (1997, s. 55) toteaa tämän vähentävän tekeillä ja hoidettavana olevia samanaikaisia töitä, työnjärjestely on helpompaa ja KETiin sitoutunut pääoma on vähäisempi. KETin määrä on melkein suoraan yhteydessä läpäisy aikaan. (Lapinleimu 1997, s. 55; Uusi-Rauva et al. 2003, s. 347–348).





Kuva 6. Vertailu pitkän ja lyhyen läpäisyajan välillä. Tehtaalla A on pitkä läpäisy aika, ja se joutuu pitämään tuotevarastoa. Tehtaalla B on lyhyt, toimitusaikaakin lyhyempi läpäisy aika, joten tehdas ei tarvitse tuotevarastoa. KETin määrä on suoraan verrannollinen läpäisy aikaan. (Lapinleimu 1997, s. 56).

Erätuotannossa työpisteet pysyvät pitkään varattuina yhden vaiheen tekemiseen ja tämä heijastuu läpäisy aikaan. Tilanteen parantamiseksi voidaan kehittää asetusten tekemistä tavoitteena pienentää asetus aika olemattomaksi ja pienentämällä vastaavasti sen antamin mahdollisuuksin eräkokoa. Kokoonpanon läpäisy aikaan voidaan vaikuttaa jakamalla työ rinnakkain tehtäviin osakokoonpanoihin tai kehittämällä osavalmistus ja osien ohjaus häiriövapaaksi. Koko tuotannon läpäisy aikaan vaikuttavat lisäksi materiaalien hankinnat, joiden osuus läpäisy ajasta saattaa olla ratkaiseva. (Lapinleimu 1997, s. 58).

Läpäisy ajan pienentäminen vaatii väli varastojen vähentämistä tuotannossa ja työjonojen lyhentämistä työpisteissä. Yksi keskeisimmistä keinoista valmistuksen eräkokojen pienentämisessä on läpäisy ajan lyhentäminen. Matala KETin määrä ja eräkokojen pienenus helpottavat suunnitellessa kapasiteetin käyttöä, mikä auttaa tuotannon ohjauksen eri tavoitteiden toteuttamisessa. Pieni erä koko tosin kasvattaa asetusten määrää, johtuen tuotteiden vaihdosta. Jotta saadaan aikaan sama tuotanto, pitää lisätä asetusten määrää, mikä aiheuttaa lisää kustannuk-

sia. Kohonnut asetusten määrä vähentää tehokasta tuotantoaikaa ja täten pienentää kuormitusastetta. Asetusaikojen lyhentäminen on edellytys, mikäli halutaan kehittää kuormitusastetta. Näin ollen asetus aika on tärkeässä roolissa lyhennettäessä läpäisyäikaa ja pienennettäessä eräkokoa ja sitä kautta lyhennetään toimitusaikoja sekä tehostetaan tuotantojärjestelmää. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 347–349).

#### *2.1.7. Eräkoon ja asetusajan pienentäminen tuotannon eduksi*

Tuotannon vuosivolyymi muodostuu eristä, joissa tuote valmistetaan. Tavoite eräkoon suhteen on yhden lopputuoteyksikön tarve. Shingo (1992, s. 119) väittää 90 % maailman tehdas-tuotannosta perustuvan suuriin eräkokoihin ja ennustavaan tuotantotapaan. Lapinleimun mukaan (1997, s. 59) pienen eräkoon tavoitteen toteutuminen riippuu tekniikasta – erityisesti asetustekniikasta. Shingon (1992) mukaan asetusajan pienentäminen on tuotannon perusta. Pääomakustannusten takia erityisesti tuote- ja puolivalmisteverastojen pienentäminen ja lopulta poistaminen, puoltaa eräkoon puristamista pieneksi, arvioivat Shingo (1992, s. 120) ja Lapinleimu (1997, s. 59). Pienen eräkoon päästään automaattisesti asiakastilauksiin perustuvassa valmistuksessa, koska tilauksia ei voida toimitusaikojen vuoksi kerätä kovin pitkältä ajalta, väittää Lapinleimu (1997, s. 59). Uusi-Rauva et al. (2003, s. 351) uskoo, että suuri erä koko johtaa herkästi epätasaiseen kuormitusryhmien kuormitukseen, jonka tasoittamiseksi pidennetään työjonoja valmistusvaiheiden välillä, joka vastaavasti kasvattaa läpäisy-aikaa koko tuotannon osalta.

Kun eräkokoa pienennetään, tarkoittaa tämä useampia erä vuodessa. Eräkohtaisista kustannuksista johtuen, kokonaiskustannukset kasvavat. Nämä kustannukset painavat eräkokoa suurenevaan suuntaan, väittää Lapinleimu (1997, s. 59). Eräkohtaiset kustannukset muodostuvat asetusajoista, tehtaan sisäisistä kuljetuksista, ulkoisista kuljetuksista (mikäli tilaukset ym. hoidetaan erittäin) ja ohjaustoiminnoista, jatkaa Lapinleimu (1997, s. 59).

Asetusaika on se aika, joka kuluu työpisteessä vaihdettaessa yhden tuotteen valmistuksesta toiseen. Asetusaikaa kuluu esim. kiinnittimien ja työkalujen vaihtoon, ohjelmien tai raaka-aineiden vaihtoon sekä muihin toimiin ennen seuraavan tuotantoerän aloittamista. Pienet valmistuserät eivät ole taloudellisesti kannattavia asetusajojen ollessa pitkiä. Kapasiteetti kuluu asetus aikaan, jolloin kuormitusasteet ovat pienet, joten lyhyen asetusajan myötä pie-

nemmät valmistuserät ovat taloudellisesti kannattavia. (Shingo 1985, s. xix; Uusi-Rauva et al. 2003, s. 351)

Asetusaikoja voidaan lyhentää teknisillä ja toiminnallisilla ratkaisuilla (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 352). SMED-järjestelmän (Single-minute Exchange of Die) japanilaisen kehittäjän Shigeo Shingon mukaan (1985, s. xxii) asetus aika jakaantuu sisäiseen asetukseen, joka voidaan toteuttaa ainoastaan toiminnon ollessa pysäytettynä, ja ulkoiseen asetukseen, joka voidaan toteuttaa toiminnan jatkuessa. Esimerkiksi prässin tyyny voidaan vaihtaa ainoastaan prässin ollessa pysäytettynä, mutta tyynyn kiinnittämistarvikkeet voidaan asentaa ja järjestellä prässin käydessä. Tämän järjestelmän avulla voitiin esimerkiksi suuren prässin asetus aikaa lyhentää neljästä tunnista kolmeen minuuttiin. (Shingo 1985, s. xxii).

#### *2.1.8. Laatu erityisalana ja johtamisjärjestelmänä, laatujohtamisen nousu Japanissa*

Tuotantotalouden kannalta, Lillrank (2004, s. 141) määrittelee laadun koskemaan tavara- ja palvelutuotteiden ominaisuuksia, jotka koskevat tuotantokustannuksia ja asiakastyytyväisyyttä. Lillrankin mukaan laatu on yhtä kuin tuotteen suunnitelman ja toteutuman samanlaisuus eli virheettömyyttä. Tästä käytetään nimitystä tekninen laatu. Laatu tarkoittaa myös tuotteen muotoutumista käyttötarkoitukseensa sopivaksi, josta käytetään nimitystä asiakaslaatu tai interaktiivinen laatu. (Lillrank 2004, s. 141). Teknisen laadun tavoite virheettömyydestä saavutetaan, kun tuotantoprosessi on täydellisesti kontrolloitu ja virheiden lukumäärä on nolla. (Lillrank 2004, s. 141–142). Shingon (1992, s. 63) mukaan virheiden tuottamisen välttäminen on tärkeämpää tuotannossa kuin niiden löytäminen.

Lillrank (2004, s.144) kuvailee tuotantoprosessia tuotannossa tapahtuvaksi useiden kappaleiden valmistukseksi, jota toistetaan tuotteiden tarpeen mukaan. Päämääränä on että jokainen toistokerta on mahdollisimman samanlainen kuin alkuperäinen ja tuottaa saman tuloksen. Mikäli tämä ei toteudu, tulokset ovat sattumanvaraisia johtuen tuotantoprosessin hallitsemattomuudesta. Tätä efektiä kutsutaan vaihteluksi. (Lillrank 2004, s. 144). Uusi-Rauvan et al. (2003, s. 321) mukaan yrityksen tuotteiden laatu rakentuu tuotantoprosessien laadusta, eli laatu pitää suunnitella ja rakentaa yrityksen tuomintaprosesseihin. Lopulta tuotannon laatu johtuu yrityksen johtamisesta ja yrityskulttuurista.

Lillrankin (2004, s. 145) mukaan teollisessa laatujohtamisessa on todettu että prosessissa esiintyvä vaihtelu voidaan jakaa kahteen erilaiseen syytyyppiin: erityissyihin ja yleisiin syihin. Erityissyyt ovat prosessiin vaikuttavat ulkoiset häiriötekijät, jotka voivat olla sattumanvaraisia. Yleiset syyt eivät taas johda mihinkään tunnistettavissa olevaan tekijään vaan kuuluvat prosessin normaalitilan vaihteluihin. Yleiset syyt aiheuttavat vaihtelua, koska yleiset syyt ovat rakennettu prosessiin. (Lillrank 2004, s. 145).

Lillrank (2004, s. 152) kuvailee laatuajattelun kehittymistä tuotantoteknisestä erityisalasta yleiskattavaksi johtamisalaksi saavan alkunsa 1950-luvun Japanissa, jossa sodan pahoin vaurioitunut teollisuus oli ottanut visiokseen kuroa umpeen länsimaiden etumatkan. Ensimmäisen yleiskattavan laatu käsikirjan tekijä yhdysvaltalainen Joseph Juran (1904–2008) keskittyi laatujohtamiseen aikakauden valtavirrasta poiketen (Lillrank 2004, s. 152). Hänen ajatuksensa, jotka koskivat laadun suunnittelua, ohjausta ja parannusta, saivat lämpimän vastaanoton 1950-luvun tuotannollisen laatu kriisin kourissa olevassa Japanissa (Lillrank 2004, s. 152; Uusi-Rauva et al. 2003, s. 330). Tämä uusi laatujohtamisjärjestelmä tunnetaan nykyisin nimellä kokonaisvaltainen laatujohtaminen, Total Quality Management (TQM) (Lillrank 2004, s. 152).

Teollisuuden laadun parantaminen toisen maailmansodan jälkeen johti havaintoon, että suurin osa laatuvirheistä oli syntynyt tuotantoprosessien suunnittelussa, eli ne johtuivat yleisistä syistä. Senaikainen käsitys oli kuitenkin, että virheet ovat työntekijöistä johtuvia, heidän laiskuudestaan ja piittaamattomuudestaan aiheutuneita vikoja, jota tuki mikrotalousteoriasa vallitseva näkemys, että ilman valvontaa tai tulospalkkausjärjestelmää työntekijät pyrkivät ponnistelunsa minimoimiseen (Shingo 1992, s. 8; Lillrank 2004, s. 152–153). Tämän takia laadun kehittäminen johti tarkastuksiin, valvontaan, tulospalkkaukseen ja asennemuokkaukseen. Työntekijöiden syyllistäminen ei kuitenkaan ole tavoiteltavaa, jos laatu virheet johtuvat systeemistä, vaan vastuu siirtyy organisaation johdolle. Yleisten ja erityisten syiden logiikka johtaa päätelmään, että virheet jotka johtuvat erityisistä syistä on poistettava ensin, jotta tuotantoprosessi saataisiin hallintaan. Erityisten syiden löytämiseksi vaaditaan useimmiten kokemuseräistä tietoa, jota useimmiten löytyy työntekijöiltä mutta mahdollisesti uupuu tuotantosuunnittelijoilta. Loogista on, että työntekijöiden tieto ja taito kanavoidaan laatuongelman ratkaisemiseksi, mutta tämä vaatii erityisen kehittämisorganisaation, työntekijöiden ongelmanratkaisuryhmien eli laatu piirien perustamisen sekä niitä ohjaavan standardoinnin laatimisen. (Lillrank 2004, s. 152–153). Shingon (1992, s. 65) mukaan laadun parantaminen japanilaisessa teollisuudessa johtuu 85 %:sesti laatu piireihin liittyvästä toiminnasta

ja vain 15 %:sesti laatutarkastuksista, joissa virheen tapahtuttua informaatio syötetään takaisin virhelähteeseen.

TQM liittyy kaikkiin yrityksen toimintoihin ja se sisältää monia tekniikoita ja toimintamalleja. Keskeisimmät elementit ovat asiakaslähtöisyys, henkilöstön osallistuminen, tiimityöskentely, henkilöstön kehittäminen sekä toimintojen jatkuva parantaminen. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 325). Uusi-Rauva et al. (2003, s. 336) väittävät TQM:n olevan filosofinen perusluonteeltaan ja vaativan henkilöstöltä korkeaa osaamista ja sitoutumista laatuajatteluun.

## **2.2. Tehtaan layout ja valmistusvirta**

Tehdas voi koostua eri valmistusyksiköistä, joiden välillä tapahtuu logistisia toimia. Näitä valmistusyksiköitä tukevat erilaiset tukiyksiköt. Näistä kolmesta resurssista koostuu tehtaan valmistusjärjestelmä. (Lapinleimu 1997, s. 79).

Tehtaan valmistusyksiköt voidaan järjestellä eri tavoin, tätä voidaan kutsua tehtaan layoutiksi. Layoutilla tarkoitetaan tässä yhteydessä valmistusyksiköiden, varastopaikkojen ja kulureittien sijoittelua tehtaassa. (Uusi-Rauva et al. 2004, s. 411). Layout-tyypin valinta tehdään tuotevalikoiman ja tuotantomäärän perusteella, esittävät Uusi-Rauva et al. (2004, s. 411).

Tehtaan valmistusyksiköillä voi olla erilaisia toimintoja, kuten osavalmistusta tai kokoonpanoa. Nämä toiminnot voidaan järjestää eri tavoin (Lapinleimu 1997, s. 79). Lapinleimu (1997, s. 79) käyttää termiä toimintatapa, layoutin sijaan.

Tehtaan layout voidaan jakaa erilaisiin osa-layouteihin ja se voi vaihdella vaiheittain tuotantoprosessin aikana. Tuotteiden valmistuksessa voidaan käyttää tuotteiden tyyppien tai valmistusmäärien poikkeavuuksien mukaan erilaista layoutia. (Uusi-Rauva et al. 2004, s. 411). Layout-suunnittelu on aina kompromissi sen monimutkaisuuden ja siihen vaikuttavien tekijöiden suuresta määrästä, kirjoittavat Uusi-Rauva et al. (2004, s. 412). Uusi-Rauva et al. (2004, s. 412) perustelevat layout-suunnittelun lähtökohtia seuraavilla tekijöillä:

- tuotteisiin käytettävät materiaalit
- tuotteiden työvaiheet ja niiden järjestys
- tuotantomuoto ja -tekniikka
- tuotannon aikajänne
- tukitoimien tarve.

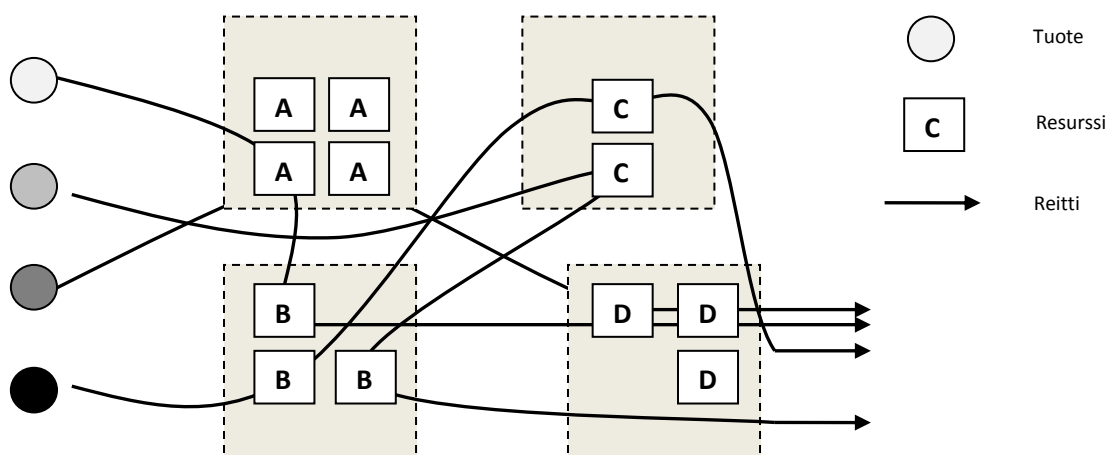
Uusi-Rauva et al. (2004, s. 413) tuovat esiin materiaalivirrat ja niiden tehokkuuden keskeisenä tavoitteena suunniteltaessa layoutia. Nämä logistiset toimet valmistusyksiköiden välillä pyritään minimoimaan layout-suunnittelun yhteydessä, esittävät Uusi-Rauva et al. (2004, s. 413). Shingo (1992, s. 108–110) puolestaan väittää tuotteiden ja materiaalien kuljetuksen olevan täysin turhaa ja arvoa tuottamatonta. Hän jatkaa kuvailemalla kuljetuksia ”vakavaksi synniksi” ja niiden tuhlaavan resurssien käyttöä. Shingo (1992, s. 108–110) jatkaa, että kuljetusten kehittämisen sijaan niistä pitää päästä eroon täysin, jossa onnistutaan parantamalla layouteja.

Lapinleimu (1997, s. 79–100), Lehtonen (2004, s.64–65) ja Uusi-Rauva et al. (2004, s.407–410) erittelevät layout-tyypit neljään erilaiseen päätyyppiin:

- funktionaalinen layout
- tuotantolinja-layout
- solu-layout
- tuoteverstaas-layout.

### 2.2.1. *Funktionaalinen layout*

Funktionaalisessa layoutissa keskenään samankaltaiset työpisteet ja koneet on kerätty yhteen ryhmiksi (kuva 7). Yleensä nämä on nimetty resurssin mukaisesti, sorvit ovat sorvaamossa, hitsaajat hitsaamossa jne. Tätä tapaa järjestellä valmistusyksiköitä kutsutaan myös teknologiseksi layoutiksi, valmistusteknologiaan perustuvan ryhmittelyn takia. Funktionaalinen layout oli vallitseva valmistusjärjestelmä 1980-luvulle saakka. (Lapinleimu 1997, s. 79; Lehtonen 2004, s. 65; Uusi-Rauva et al. 2004, s. 408)



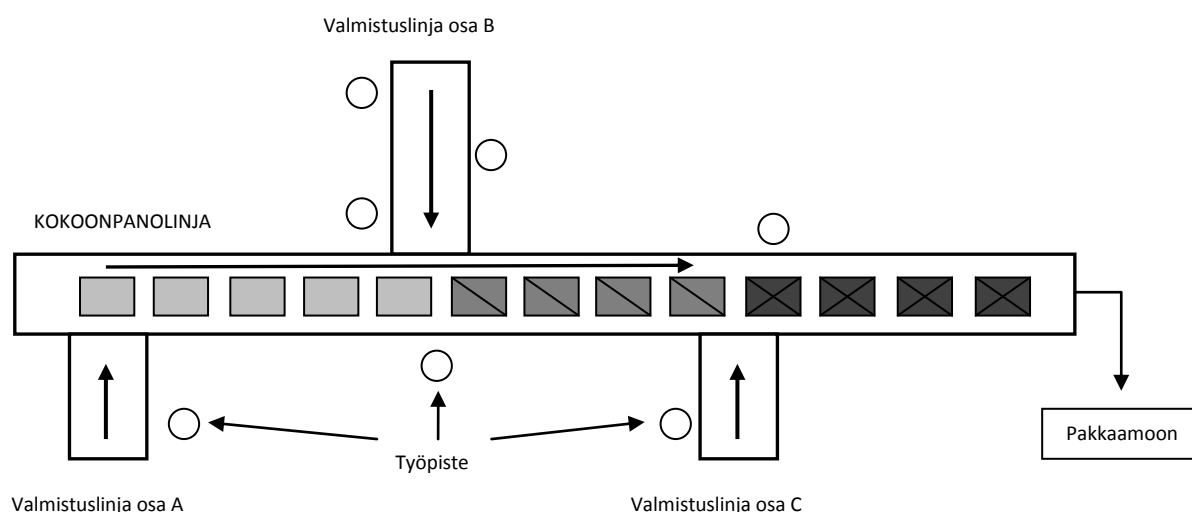
Kuva 7. Funktionaalinen layout (Lehtonen 2003, s. 65).

Lapinleimu (1997, s. 79) väittää funktionaalisen layoutin etuja olevan joustavuus siinä suhteessa, että järjestelmällä voidaan valmistaa kaikkea mitä resurssit pystyvät valmistamaan. Lisäksi kapasiteetin käytön tehokkuus kuormitusryhmässä on helppo nostaa 100 %:iin sekä ammattitaidon keskittyminen resurssiryhmään nostaa osaamistasoa resurssiryhmän sisällä (Lapinleimu 1997, s. 79). Uusi-Rauva et al. (2004, s. 408) tuovat esille hyvinä puolina tuotantomäärien ja tuotetyyppien joustavan vaihdon, toteutuksen olevan halpa ja helppo tuotantolinjaan verrattuna sekä kapasiteetin kasvattaminen olevan joustavaa kuten myös eri tuotteiden valmistaminen. Lehtonen (2004, s. 65) arvioi lisäksi funktionaalisen layoutin hyvänä puolena olevan tuotantovaiheiden vapaan järjestyksen.

Lapinleimu (1997, s. 80) esittää funktionaalisen layoutin haittapuolina olevan huono ohjattavuus, hidas läpäisy, monimutkainen järjestelmä sekä KETin korkea määrä. Erityisesti suuret funktionaaliseen layoutiin perustuvat järjestelmät ovat huonosti ohjattavia. Ohjattavuus pahenee nopeammin kuin työpisteiden lukumäärän kasvu, uskoo Lapinleimu (1997, s. 80). Uusi-Rauva et al. (2004, s. 408) toteavat funktionaalisen layoutin suurimmiksi haittapuoliksi automaation vaikea soveltaminen materiaalinkäsittelyyn ja työpisteiden pitkien etäisyyksien takia kuljetuskustannusten nouseminen suuriksi. Lisäksi laadunhallinta on hankalaa työnvaiheiden välillä olevien välivarastojen ja työpisteiden etäisyyden takia. Yhteenvetona Lapinleimu (1997, s. 80) esittää funktionaalista layoutia käytettäväksi tarpeeksi pieninä yksikköinä, joissa ohjattavuus onnistuu.

### 2.2.2. Tuotantolinja-layout

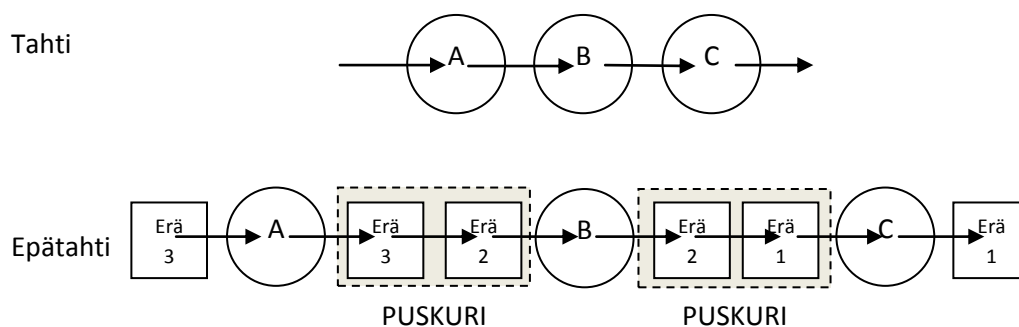
Tuotantolinja-layoutissa, tai tuotantolinjassa, tuotteiden työkulut määrittelevät koneiden ja laitteiden järjestyksen (Uusi-Rauva 2004, s. 407). Terminä linja tarkoittaa tässä yhteydessä peräkkäistä työnkulkua, ei koneiden sijoitusta. Pitkä rivi koneita ilman työjärjestykseen sitovaa sijoittelua ei muodosta tuotantolinjaa, tarkoittaa Lapinleimu (1997, s. 85). Tuotantolinjassa kaikkien tuotteiden työnkulku on sama, mutta vaiheita, joita kaikki tuotteet eivät vaadi, voi olla – tuotteet vain läpäisevät työpisteen (Lapinleimu 1997, s. 81). Tuotantolinjoja voidaan käyttää monessa eri valmistusyksikössä, kokoonpanossa, osavalmistuksessa tai näiden yhdistelmissä (Lapinleimu 1997, s. 85).



Kuva 8. Tuotantolinja-layout. Osat A, B ja C yhdistetään työpisteillä tuotteeksi, joka lähetetään pakkaamoon. (Uusi-Rauva 1997, s. 407).

Tuotantolinjat voidaan jakaa päätyypiltään tahtilinjoihin ja epätahtilinjoihin. Tahtilinjassa työpisteiden välissä ei ole puskurivarastoja, joten työpisteet ovat sidoksissa toisiinsa. Sidotut työpisteet toimivat yhdessä, vain yksi resurssi kerrallaan toimii, muiden odottaessa. Pisin työvaihe asetusaikoineen määrää tahtilinjan kapasiteetin. Tahtiaika kertoo minkä ajan välein tuote valmistuu linjalta. (Lapinleimu 1997, s. 81–82). Epätahtilinjassa työpisteiden välissä on puskurivarasto, joka tasoittaa eräkohtaisia vaiheajoja jokaisen työpisteen työstäessä eri erää. Puskuripaikkoja tarvitaan periaatteessa kahta erää varten, niiden koon määräytyessä eräkoon ja tuotteen tyypin mukaan. (Lapinleimu 1997, s. 83).





*Kuva 9. Tahti- ja epätahtilinja. Tahtilinjassa jokaisessa työpisteessä (A, B, C) on omat työstettävät kappaleet, jotka vaihdetaan samaan aikaan. Epätahtilinjassa jokaisen työpisteen (A, B, C) välissä on puskuri, jonka avulla voidaan vaihtaa työstettävät erät eri aikaan. (Lapinleimu 1997, s. 81–83).*

Uusi-Rauva et al. (2004, s. 408) esittävät, että tuotantolinja on tuottavampi ja sen kuormitusaste on yleensä korkeampi kuin funktionaalinen layout. Lapinleimu (1997, s. 84) tuo esille pakkotahtisuuden tuoman hyödyn merkitsevän selkeää ja varmaa läpäisyn hallintaa, usein lyhyttä läpäisyaikaa sekä lyhyitä eräaikoja. Lisäksi Lapinleimu (1997, s. 84) väittää tuotantolinjan olevan joustava siinä mielessä, että joustavuus on sidottuna niihin työpisteisiin, joita tuotteen valmistaminen vaatii, eikä niinkään linjamuotoon.

*Taulukko 1. Vertailu funktionaalisen ja tuotantolinja-layoutin ominaisuuksista.*

<b>Funktionaalinen layout</b>	<b>Tuotantolinjalayout</b>
- suuret yksikkökustannukset	- pienet yksikkökustannukset
- paljon keskeneräisiä töitä	- vähän keskeneräisiä töitä
- joustava tuotepolitiikassa	- jäykkä tuotepolitiikassa
- helppo rakentaa	- vaikea rakentaa
- pieni häiriöalttius	- suuri häiriöalttius
- tuotannonohjaus vaikeaa	- tuotannonohjaus helppoa
- joustava kapasiteetin lisäämisessä	- joustamaton kapasiteetin lisäämisessä
- kuormitusaste 60–90 %	- kuormitusaste 80–100 %

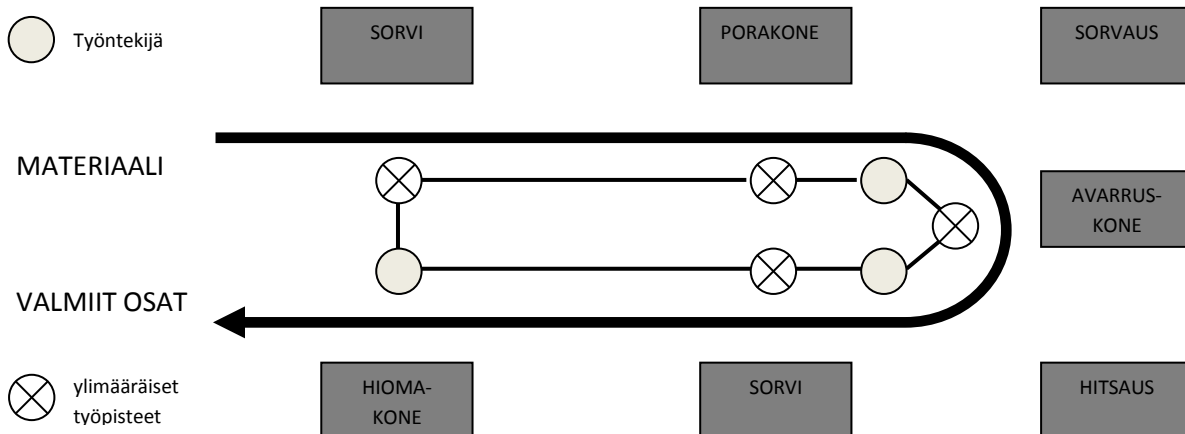
*(Uusi-Rauva et al. 2004, s.408).*

Uusi-Rauva et al. (2004, s. 408) vertailevat funktionaalisen layoutin ominaisuuksia tuotanto-linja-layoutiin. Lapinleimu (1997, s. 85) suosittelee tuotantolinjan soveltamista aina mahdollisuuksien mukaan, sen selkeyden ja hyvän ohjattavuuden ansiosta.

### 2.2.3. Solu-layout

Solu-layout, tai lyhyesti solu, muodostaa ryhmän itsenäisiä työpisteitä, jotka ovat erikoistuneet tiettyjen toimintojen suorittamiseen (Lapinleimu 1997, s. 85; Uusi-Rauva 2004, s. 409). Solu voidaan nähdä funktionaalisen layoutin ja linja-layoutin yhdistelmänä, jossa voidaan nähdä ominaisuuksia molemmista päätyypeistä (Uusi-Rauva 2004, s. 409).

Lapinleimu (1997, s. 85) määrittelee solun itsenäiseksi yksiköksi, mikäli sillä on oma mm. tuotteisto valmistettavanaan, yhtenäinen alue, tuotantokalustonsa, henkilöstönsä sekä kommunikoinnin mahdollistava koko 1–6 henkeä. Lehtonen (2004, s. 65) puolestaan näkee solu-layoutin organisoituvan tuotokeskeisesti, jossa tuotanto on nopeaa ja suoraviivaista.



Kuva 10. Solu-layout (Uusi-Rauva et al. 2004, s. 409).

Solu-layout luo pohjan tuotantojärjestelmän strukturoinnille, jossa järjestelmän rakenne saadaan läpinäkyväksi ja helposti havaittavaksi. Ilman struktuuria on vaikea saada käsitystä siitä, miten järjestelmä toimii, koska siinä on liikaa toisiinsa vaikuttavia asioita. Strukturoinnin merkitys tulee esiin kehityssuunnitelmia tehtäessä sekä poikkeustilanteissa. (Lapinleimu 1997, s. 92)

Solu yhdistää työnvaiheita kokonaisuudeksi, joka vähentää ohjauspisteiden määrää ja siten tarkoittaa ohjauksen helpottumista (Uusi-Rauva et al. 2004, s. 410). Työnvaiheiden yhdistyminen vähentää KETin määrää ja lyhentää läpäisyäikää, joka edelleen antaa joustavuutta tuotantosuunnitelman tekoon, tähdentää Lapinleimu (1997, s. 92). Uusi-Rauva et al. (2004, s. 410) tuo esille myös solu-layoutin herkkyyden kuormituksen vaihteluille sekä tuotevalikoiman muutoksille.

Solun toiminnan yksi olennaisista osuuksista on sen henkilöstön monitoiminen osaaminen. Solussa on yleensä enemmän työpisteitä kuin työntekijöitä, mikä antaa mahdollisuuden tasata solun sisäistä kuormitusta vaihtamalla työpistettä tai tehtävää spontaanisti. (Lapinleimu 1997, s. 86). Tämä tuo toisenlaista laajempaa joustavuutta verrattuna tuotantolinjaan ja korkeampaa tehokkuutta kuin funktionaalinen layout. Solun sisäinen työjärjestely voi lisätä työntekijöiden motivaatiota sekä tuottavuutta, ryhmän vastatessa itsenäisesti tehtävien suunnittelusta ja suorittamisesta. (Uusi-Rauva et al. 2004, s. 409–410). Solun itsenäinen toiminta merkitsee myös ratkaisujen siirtymistä lähemmäs ratkaisun tarpeen syntypaikkaa, tuomalla järjestelmään nopeutta tiedonsiirron läpäisevien tasojen vähyiden kautta, uskoo Lapinleimu (1997, s. 92).

Henkilöstön erikoisasema solun toiminnassa ja solun itsenäinen yksikköluonne tulee muistaa erityisesti henkilöstöpolitiikassa sekä tuotannon ohjauksessa. Ohjausimpulssit tuotannonohjauksesta tulee ulottua vain solutasolle ja tuotannon sisäinen järjestely tehdään solussa. Palkkauksen kautta pitää myös luoda tiiviimpi henkilöstö eikä hajottaa solun tiimiä. (Lapinleimu 1997, s. 87).

Solujen toiminta-alueen laajuus ja solujen itsenäisyys tarkoittaa myös kevennettyä organisaatiota solun ympärillä. Laaja-alaisen vastuun ja monipuolisten työnvaiheiden ansiosta solun toiminta kehittää työympäristöä. Solujärjestelmä on täten yksi Lean-tuotannon avaintekniikoista. (Lapinleimu 1997, s. 93–94).

## 2.3. Kokoonpano

### 2.3.1. Kokoonpanon määrittely

Lehtonen (2004, s. 68) määrittelee kokoonpanon olevan materiaalien yhdistämistä yhdeksi tuotteeksi tuotannossa. Kauppinen (1997, s. 111) analysoi kokoonpanon, tai koonnan, olevan eri vaiheissa valmistettujen ja hankittujen osien yhteen liittämistä toimivaksi tuotteeksi tai sen osaksi.

Kokoonpano on tuottavalla tehtaalla tapahtuvaa työtä. Jos tuote tai osa kootaan asiakkaan luona, kutsutaan sitä asennukseksi. Vaikka muu tuotanto on yhä enemmän koneistunut, tapahtuu suuri osa kokoonpanotyöstä vieläkin käsityönä, joka tehdään hyvien työvälineiden avulla hallituissa olosuhteissa. Kokoonpanoa tehdään sekä erätuotannossa että projektituotannossa, pienistä, suurina erinä valmistettavista hyödykkeistä aina suuriin koneisiin ja laivoihin asti. Kokoonpanotekniikka vaihtelee erilaisten töiden mukaan. (Kauppinen 1997, s. 111).

Kauppinen (1997, s.111) kertoo useiden tutkimusten osoittavan kokoonpanon osuuden kokonaistyöajasta olevan yllättävän suuri, 20–40 %. Kokoonpanijat ovat itsenäiseen työskentelyyn kykeneviä, taitavia työntekijöitä. Kokoonpano vie laajasti tuotantotiloja ja se voi sitoa pääomaa KETiin ja varastoihin. (Kauppinen 1997, s.111).

Kokoonpanotyö sisältää Kauppisen (1997, s.111) mukaan käsittelyä, siirtämistä, varastointia, liittämistä ja tarkastamista, josta vain periaatteessa liittäminen on tuotteen arvoa nostavaa. Ilman muita arvoa nostamattomia toimintoja kokoonpano ei Kauppisen (1997, s. 111) mukaan tosin ole mahdollista. Niiden osuutta pyritään pitämään mahdollisimman pienenä, mm. siten, että kokoonpanoa edeltävissä vaiheissa otetaan kokoonpanotyö huomioon, Kauppinen (1997, s. 111–112) tähdentää.

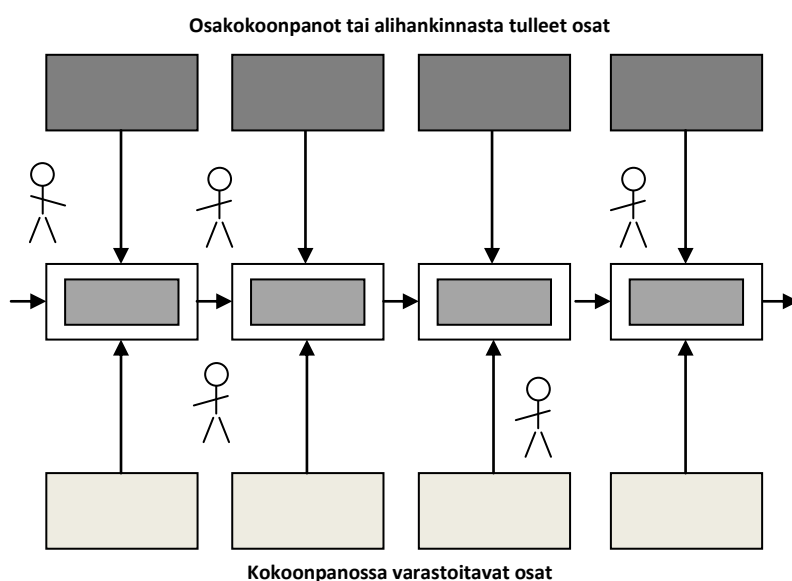
### 2.3.2. Kokoonpanojärjestelmät

Suuret valmistusmäärät hoidetaan yleensä kokoonpanotehtaissa, joissa osien saaminen lähelle kokoonpanopaikkaa on yksi olennaisista kysymyksistä suunniteltaessa kokoonpanojärjes-

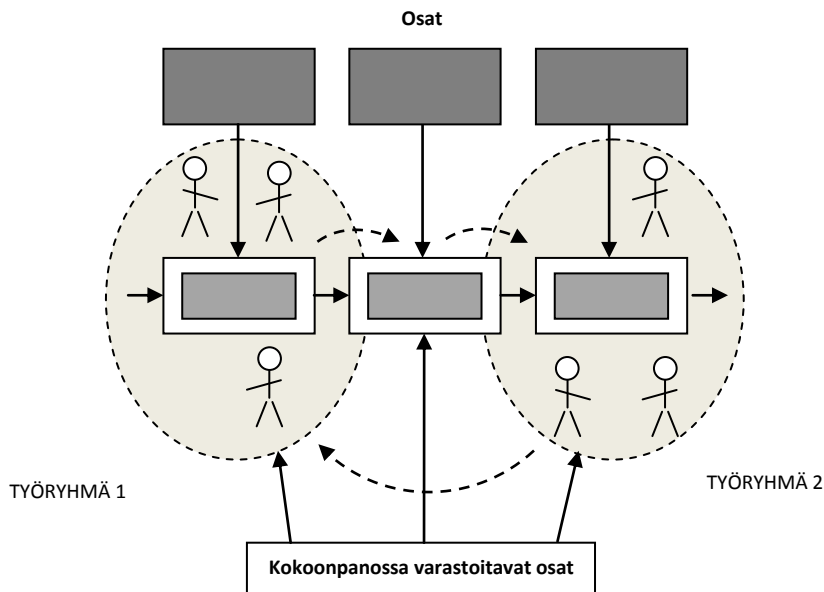
telmää. Näissä tehtaissa tapahtuu myös usein osakokoonpanoa, jossa pienempiä osia yhdistetään kokonaisuudeksi, joka siirretään loppukokoonpanoon tuotteeseen liitettäväksi. (Kauppinen 1997, s. 112). Kauppinen (1997, s. 112) jakaa kokoonpanon paikkakokoonpanoon sekä linjakokoonpanoon.

Paikkakokoonpano soveltuu yksittäistuotantoon ja pienimuotoiseen erätuotantoon, jossa kokoonpanon suorittaa yksittäinen työntekijä tai useammasta työntekijöistä koostuva ryhmä. Kokoonpano voi olla jaoteltu ammattialoittain, esim. mekaniikan, hydrauliiikan ja sähkötekniikan kokoonpanotyöt. Kokoonpano tapahtuu kiinteillä kokoonpanopaikoilla, jossa työntekijät tulevat tuotteen luokse. (Kauppinen 1997, s. 112–113).

Kauppinen (1997, s. 112–113) jakaa linjakokoonpanon kahteen alakategoriaan, linjaan, jossa työntekijät on jaettu vaiheisiin, ja linjaan, jossa työntekijät toimivat ryhmänä. Vaiheisiin jaetun henkilöstön kokoonpano soveltuu suurten erien erätuotantoon ja joukkotuotantoon. Työntekijät ovat kiinteissä työpisteissä, johon kokoonpantava tuote tulee kuljetusten avulla. Tämä on lähellä perinteistä liukuhihnatyötä. Mikäli työntekijät toimivat ryhmänä, kyseessä on kokoonpanosolu. Vastaavasti ryhmänä toimivat työntekijät voivat vastata tuotteen kokoonpanosta alusta loppuun, kulkien linjan eri työpisteitten läpi tuotteen mukana suorittaen eri työvaiheet. Tuotteen ollessa valmis ryhmä siirtyy linjan alkuun ja aloittaa uuden tuotteen kokoonpanon. (Kauppinen 1997, s. 112–114).



*Kuva 11. Kokoonpanolinja, jossa työntekijöillä on melkein oma tehtäväkenttänsä. Henkilöstö voi koostua yksilötyöntekijöistä, tai muodostaa ryhmän, eli kokoonpanosolun. (Kauppinen 1997, s. 113).*



Kuva 12. Kokoonpanolinja, jossa työryhmä siirtyy tuotteen mukana työpisteeltä toiselle, ja tekee tuotteen loppuun asti valmiiksi. Kuvassa näkyy kaksi ryhmää, jotka toimivat lomittain. (Kauppinen 1997, s. 114).

### 2.3.3. Manuaalisen kokoonpanon kehittäminen

Kokoonpanon suurta osuutta työajasta voidaan kehittää pienemmäksi tehokkaimmin tuotesuunnittelun puolella. Tuotesuunnittelussa voidaan yksinkertaistaa tai jopa poistaa kokoonpanoa. Tuotesuunnittelija voi määrittää kokoonpanotavan, kokoonpanon helppouden sekä kokoonpanon automatisointimahdollisuudet. (Kauppinen 1997, s.115).

Automatisointimahdollisuudet ovat Kauppinen (1997, s. 115) mukaan perusteena suunnitteluperiaatteille, koska ne yleensä helpottavat myös manuaalista kokoonpanoa. Mikäli automatisointimahdollisuudet otetaan huomioon jo tuotteen ensisuunnittelussa, voidaan aikanaan myös helpommin siirtyä automaattisempaan työtapaan. Usein kokoonpanon automatisointihankkeissa on huomattu olemassa olevan rakenteen soveltumattomuuden automatisoinnille. Tällöin on tuote suunniteltava uudelleen vähentäen esim. kokoonpanosuuntia ja kokoonpanavia osia. (Kauppinen 1997, s. 115).

Manuaalisen kokoonpanon kohdalla voidaan soveltaa mm. seuraavia yleisluontoisia suunnitteluohjeita (Kauppinen 1997, s. 115–116):

- suunnittele automatisoinnin ehdoilla
- käytä moduuleja konstruktioissa
- käytä mahdollisimman vähän mm. komponentteja, liitoksia ja sovittamista
- suunnittele käsittely helpoksi
- ota huomioon ergonomiset tekijät.

Kun tuotteen suunnittelussa on otettu huomioon kokoonpano, voidaan kehitystä jatkaa suhteellisin pienin parannuksin kohti helppoa kokoonpantavuutta. Informaation riittävyys ja oikea-aikaisuus tulee esille kokoonpanossa. Informaation ollessa mieluiten kirjallista on annettava yksityiskohtaista ja selkeää tietoa työntekijälle työn kulusta. Tärkeimmät dokumentit, joita tarvitaan kokoonpanossa, ovat kokoonpano-ohjeet, josta löytyvät sekä piirustukset että osaluettelot. Piirustuksista nähdään mikä on kokoonpanon lopputulos sekä työnvaiheet, kun osaluetteloista selviää, mitä osia ja komponentteja kokoonpanossa käytetään. (Kauppinen 1997, s. 121).

Kokoonpanossa tarvitaan tuotteen kokoamiseen (Kauppinen 1997, s. 122) mm.:

- tieto mitä kootaan
- tieto mitä osia ja komponentteja tarvitaan missäkin vaiheessa
- tieto mitä työkaluja ja apuvälineitä tarvitaan
- tieto miten kokoonpano tehdään
- materiaalit kokoonpanopisteessä hyvässä järjestyksessä.

Kauppinen (1997, s. 122) väittää, että tuotetta jalostavan työn osuutta voidaan kasvattaa kaksinkertaiseksi organisoimalla kokoonpano sujuvaksi, järjestämällä työpisteelle oikeat työkalut sekä apuvälineet ja luomalla häiriöttömän toiminnan edellytykset suunnittelemalla työvaiheet ennakkoon.

Kokoonpanon kehittäminen voidaan Kauppisen (1997, s. 123) mukaan jakaa turhan työn poistamiseen ja tarpeellisen työn kehittämiseen. Turhan työn ollessa kaikkea sellaista työtä, joka ei tuo tuotteeseen lisäarvoa, tarpeellinen työ on se, mitä tuotteen kokoonpanossa tarvi-

taan olosuhteisiin nähden parhailla tavoilla tehtynä. Tarpeellista työtä voidaan parantaa työkalujen, apuvälineiden, materiaalin käsittelyn ja työmenetelmien kohentamisen kautta. (Kauppinen 1997, s. 123).

Visuaalisin perustein tapahtuva imuohjaus sopii usein kokoonpanon ohjausjärjestelmäksi, toteaa Kauppinen (1997, s. 124). Kokoonpano on erityisasemassa käynnistäessä imuohjauksen imun. Visuaalisessa ohjausjärjestelmässä jokaisen prosessissa työskentelevän on mahdollista tarkastaa materiaalitilanne ja tehdä tarvittava tilaus viipymättä. Oikeiden materiaalien oikea-aikainen saaminen kokoonpanoon on materiaalihuollon perusta. Materiaalihuolto voi olla itseohjautuvaa tai ohjattua, molemmissa tapauksissa sen voivat hoitaa kokoonpanijat tai ulkopuolinen henkilöstö. Turhan materiaalin välttämisen edellytys kokoonpanossa on materiaalihuollon järjestäminen johtoajatuksella ”juuri oikeaan tarpeeseen” (eng. just-in-time, JIT). (Kauppinen 1997, s. 124).

## 2.4. Logistiikka

Logistiikka on hyvin laaja käsite, joka sisältää katsantokannasta riippuen erilaisia piirteitä (Lumsden 2011, s. 21–24). Laajasti katsoen, logistiikalla tarkoitetaan yrityksen materiaalien hankintaan, valmistukseen, varastointiin ja jakeluun liittyvää suunnittelu- ja ohjausprosessia sekä niihin liittyvien tietojen hallintaa. Logistiikan päämääränä on tuottaa asiakkaille lisäarvoa materiaalitoimintojen kustannustehokkuuden maksimoinnin kautta. (Miettinen 1993, s. 67; Uusi-Rauva et al. 2004, s. 397–398).

Logistiikan rooli on merkittävä usealla toimialalla. Karkeasti ottaen, mitä suurempi osa pääomasta on sitoutunut logistiikan vaikutusalueina oleviin varastointiin, kuljetuksiin ja jakeluun, sitä tärkeämpää on logistiikan hallinta (Miettinen 1993, s. 68; Uusi-Rauva et al. 2004, s. 398). Logistiikalla voidaan myös saada etua kilpailijoihin nähden. Hyvin ohjattu ja organisoitu logistiikka tarjoaa kustannussäästöjä, lyhyempiä toimitusaikoja ja parannettua tuotteiden saatavuutta (Uusi-Rauva et al. 2004, s. 400).

Uusi-Rauva et al. (2004, s. 399) jakavat logistiikan kahteen pääalueeseen, materiaalitoimintojen toteutuksen organisointiin ja materiaalivirtojen käytännön ohjaukseen. Organisoinnin päätehtäviin liittyvät varastoinnin ja kuljetusten suunnittelu. Käytännön ohjauksen avulla minimoidaan eri kustannusten taakkaa sekä ylläpidetään vaadittua palvelutasoa asiakkaille.



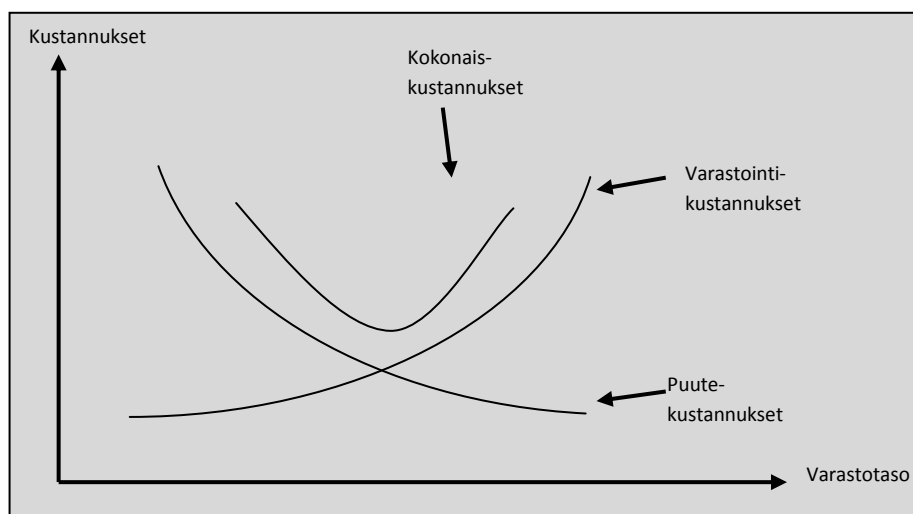
Näiden pääalueiden kautta toteutetaan logistiikalle, yrityksen strategian ja asiakkaan tarpeiden mukaan asetetut päämäärät mahdollisimman tehokkaasti. (Uusi-Rauva et al. 2004, s. 399–400).

Miettinen (1993, s. 67–88) puolestaan jakaa logistiikan kolmen pääkohdan ohjauksen alaisuuteen; materiaalivirran, pääomavirran ja informaatiovirran ohjaukseen. Materiaalivirta käsittää tuotteiden ja materiaalien siirtymistä. Pääomavirta käsittää jalostusprosessiin sitoutuneen pääoman sekä maksusuorituksen siirtymistä ja informaatiovirta käsittää tilaukseen liittyvien tietojen siirtymistä asiakkaan ja yrityksen välillä. Ohjaus käsittää näiden toimintojen suunnittelua ja valvontaa. (Miettinen 1993, s. 67–88).

#### *2.4.1. Materiaalihallinta*

Materiaalinhallinta käsittää yrityksen raaka-aineiden ja tuotteiden hankinnan, varastoinnin ja jakelun hallintaa. Materiaalihallinta koskee yrityksen kaikkia materiaalivirtoja ohjaamalla niitä toimittajalta aina asiakkaalle asti. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 381). Materiaalivirran ohjaus, tai lyhyesti materiaalinohjaus, on vastuussa siitä, että valmistuksessa tarvittavat materiaalit ovat oikeassa paikassa sovitun ajan, määrän ja laadun kriteerit täyttäen (Miettinen 1993, s. 69).

Uusi-Rauva et al. (2004, s. 381) jakavat materiaalihallinnan tavoitteet halutun palvelutason ylläpitoon sekä kustannusten minimointiin. Materiaalihallinta on tärkeässä roolissa katsottaessa tuotteiden saatavuutta ja toimitusajan pituutta, kun taas kustannusten laskeminen koskettaa mm. ostettavien materiaalien hintaa, kuljetus-, vastaanotto- ja tarkastuskustannuksia, puutekustannuksia sekä puute- ja reklamaatiokustannuksia. Kustannusten alentamiseen kytkeytyy olennainen ristiriita koskien varastotasojen nostamisesta aiheutuvasta varastokustannusten noususta, mutta samaan aikaan pienentyvistä puute- ja hankintakustannuksista (kuva 13). (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 381).



Kuva 13. Varastotason vaikutus kustannuksiin (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 383).

#### 2.4.2. Varastojen tarkoitus, minimointi ja luokittelu

Varastot kuuluvat olennaisena osana melkein kaikkiin yrityksiin. Materiaalinhjauksessa varastolla tarkoitetaan varastoitua materiaalia. (Miettinen 1993, s. 74; Uusi-Rauva et al. 2004, s. 383).

Uusi-Rauva et al. (2004, s. 383) mukaan varastoja tarvitaan tuotantoprosessin jatkuvuuden turvaamiseksi sekä toimituskyvyn ylläpitämiseksi varastojen ollessa kuitenkin huomattava kustannuserä yritykselle. Lumsden (2011, s. 309) korostaa, että varastot eivät ole itsetarkoitus. Nimikkeiden virtaus tuotteeksi pitää olla jatkuvaa – jos virtaus pitää pysäyttää, tulee sille olla painava syy. Miettinen (1993, s.75) tuo esille ideaalitilanteen, jossa varastoihin sitoutunut pääoma minimoidaan varastojen poistamisella, eli kaikelle yritykseen tulevalle materiaalille olisi päämäärä valmiina ja kaikille tuotteille olisi asiakas valmiina. Lumsden (2011, s. 309) jatkaa varastoinnin voivan peittää toiminnon ongelmat ja estää niiden saamista esille ja korjaamista. Shingo (1992, s. 71) puolestaan esittää kysymyksen, kumpi on parempi lähestymistapa (koskien automaattista varastointijärjestelmää): 1) sijoittaa miljoonia (automatoituun) varastointiin vai 2) käyttää tuotantojärjestelmää, jossa varaston tarvetta ei ole ylipää-tään?

Varastointikustannuksia aiheutuu mm. seuraavista syistä:

- pääomakustannuksista
- tilakustannuksista
- työvoimakustannuksista
- hävikistä
- vakuutuksista
- puutekustannuksista.

Varastointikustannukset ovat yleensä suoraan suhteessa varastossa pidettävien nimikkeiden määrään, kun taas puutekustannukset ovat käänteisesti verrannollisia nimikkeiden määrään varastossa. (Miettinen 1993, s. 74). Miettinen (1993, s. 76) toteaa varastointikustannusten olevan noin 20–55 % varastoon sidotun pääoman arvosta, Uusi-Rauva et al. (2004, s. 382) mukaan varastoinnista aiheutuvien kustannusten osa pääoman arvosta olevan 19,5–36 %. Uusi-Rauva et al. (2004, s. 382) painottavat varastotason suunnittelussa monien eri tekijöiden arviointia. Oleellista ei ole kustannusten minimointi, vaan vaaditun palvelutason ylläpitäminen mahdollisimman vähäisin kustannuksin.

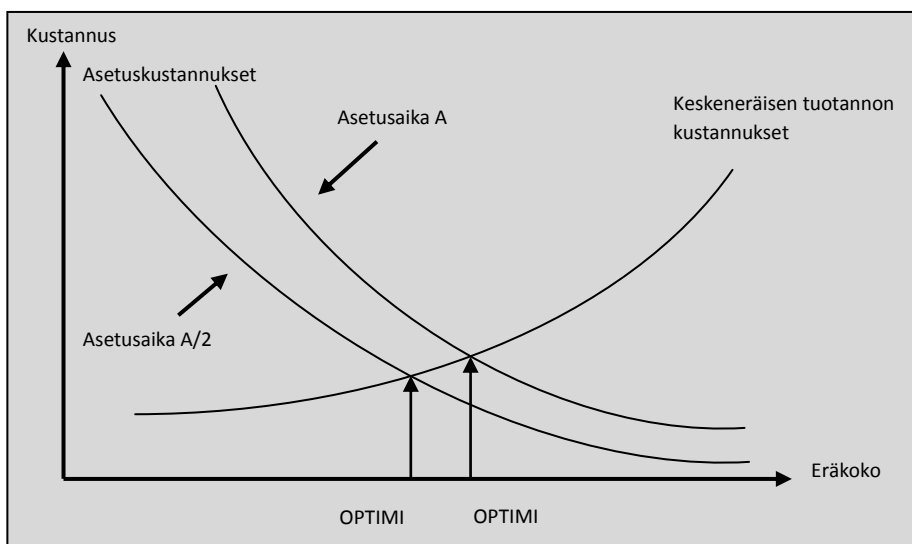
Varastointi voidaan Uusi-Rauvan et al. (2004, s. 383–384) mukaan luokitella niiden syntymekanismin perusteella, niiden ollessa:

- toimituskyvyn tukeminen - puskurivarastot
- työvaiheiden yhteenliittäminen - välivarastot
- taloudellinen eräkkö
- kuljetukset ja siirrot
- prosessin ja toimintojen virheet.

Puskurivarastojen avulla tuetaan toimituskykyä. Tuotantoprosessin läpäisyajan ollessa pidempi kuin toimitusaika, joutuu yritys puskuroimaan materiaaleja. Puskuri voi sisältyä tuotetai materiaaliavarastoon ja niitä käytetään myös kulutuksen vaihteluiden tasaamiseen. Läpäisyajojen lyhentämisellä ja joustavuuden nostamisella voidaan vähentää varastoinnin tarvetta. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 384).

Välikvarastojen tarkoituksena on kytkeä eri työvaiheet yhdeksi ketjuksi, eri työvaiheiden nopeuseroista johtuen. Välikvarastoissa pidetään keskeneräisiä tuotteita, jotka odottavat seuraavaa työvaihetta. Yleensä niitä siirretään erissä ja niiden määrä kasvaa yhdessä tuotannon erillisten vaiheiden kanssa. Välikvarasto pidentää läpäisyäikää huomattavasti sekä kasvattaa tuotantovirheiden määrää ja sitoutunutta pääomaa. (Uusi-Rauva 2003, s. 384).

Valmistuseräkoot kasvavat asetusaikojen ja asetuskustannusten myötä, muodostamalla vaiheen jälkeen ison välikvaraston. Lisäksi, eräkoon suurentaminen yhdessä vaiheessa aiheuttaa nopeasti eräköön nostamisen läpi koko prosessin, aiheuttaen kasvua läpäisyajassa ja KETin määrässä. Tavoitellessa taloudellista eräkokoa pitää huomioida varastojen pitäminen matalana. Asetusaikojen lyhentäminen on avainasemassa vähennettäessä varastoja kustannustehokkuus huomioiden. (Uusi-Rauva 2003, s. 384).



Kuva 14. Asetusaikojen alentamisen vaikutus taloudelliseen eräkköön (Uusi-Rauva, s. 352).

Kuljetusten ja siirtojen aiheuttamat eri vaiheet saavat usein aikaan turhaa varastointia ja läpäisyajan pitenemistä. Erityisesti tuotteen siirtäminen toiseen organisaatioon tuo lisää viivettä tuotantoon, kuljetuserän muodostamisen, pakkaamisen, lastauksen, kuljetuksen ja erien purkamisen kautta. Valmistuksen aikana tulee edestakaisia kuljetuksia välttää. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 384).

Lisäämällä varastojen kokoa ja määrää voidaan helposti peittää toiminnan virheet. Laadullisen virheen tapahtuessa turvaudutaan varastoihin, jotta tuote valmistuu ja lähtee asiakkaalle ajoissa. Ongelmat jäävät varastojen peittoon, eikä niihin osata kiinnittää huomiota tai osoit-

taa korjaustoimenpiteitä. Tämä vastaavasti estää toiminnan kehittämisen. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 384).

#### 2.4.3. Varastovalvonta, menetelmiä ja tunnuslukuja

Varastovalvonnan menetelmät ovat tärkeässä roolissa yrityksen tuotannonohjauksessa. Varastotilanteen hallinnan perusteella määritellään toimituskykyä, tuotantoeria sekä materiaalien hankintaa koskevia toimintoja. Ongelmatilanteet varastovalvonnassa aiheuttavat välittömästi hankaluuksia tuotannossa lisäkustannusten sekä yleisen sekasorron muodossa. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 387).

Tilauserien määrittelyssä otetaan huomioon esimerkiksi nimikkeen kustannus, toimitusaika, tunnettu menekki ja menekkiennuste sekä kuljetuksen järjestelyt. Yleensä tilauksen määrittely tarkentuu nimikkeen hinnan ja toimitusajan kasvun mukaan. Eri määrittelyperiaatteista voidaan mainita yleisin tapa, vakiotilauserä, jossa tilaukselle on määritelty vakioitu eräkokoo, joka perustuu esim. taloudelliseen eräkokoon tai pakkauserän kokoon. (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 390).

Varaston ohjaamisessa käytetään apukeinoina erilaisia tunnuslukuja, joiden avulla yritys voi myös seurata toiminnan kehittymistä sekä verrata tehokkuuttaan toisiin toimijoihin. Näistä tärkeimpiä ovat varaston kiertonopeus, varaston riittävyys ja MAT-luku. (Miettinen 1993, s. 76)

Varaston kiertonopeus kertoo, kuinka monta kertaa annetun ajan kuluessa varasto vaihtuu. Aikamääränä käytetään yleensä vuotta ja varaston arvona voi käyttää rahayksikköä tai kapalemäärää. Varaston kiertonopeus saadaan jakamalla vuotuinen myynti hetkellisellä arvolla tai keskiarvolla. Esimerkiksi, jos varaston kiertonopeus on viisi, vaihtuu tavara varastossa keskimäärin viisi kertaa vuodessa. (Miettinen 1993, s. 76–77).

$$\text{Varaston kiertonopeus} = \frac{\text{Varaston käyttö tai myynti}}{\text{Varaston määrä tai arvo}}$$

Kuva 15. Varaston kiertonopeuden kaava (Miettinen 1993, s. 76).

Varaston riittävyys kuvaa, kuinka kauan varasto riittää nykyisellä kulutuksella. Riittävyys voi antaa selkeämmän kuvan varaston kierrosta kuin varaston kiertonopeus. (Miettinen 1993, s. 78).

$$\text{Varaston riittävyys} = \frac{365}{\text{Varaston kiertonopeus}}$$

Kuva 16. Varaston riittävyyden kaava (Miettinen 1993, s. 78).

MAT-luvun (eng. Moving Annual Total) avulla voidaan, erilaisista kateprosentteista huolimatta, tutkia tuoteryhmien kannattavuutta (Miettinen 1993, s. 78–79).

$$\text{MAT} - \text{luku} = \text{Myyntikate} [\%] \times \text{varaston kiertonopeus}$$

Kuva 17. MAT-luvun kaava (Miettinen 1993, s. 78–79).

## 2.5. Ergonomia

Ergonomia muodostuu kreikan kielen sanoista ergon, joka tarkoittaa työtä, ja nomos, joka tarkoittaa lakia. Kansainvälinen ergonomiajärjestö (IEA) on määritellyt ergonomian tieteenalaksi, joka tutkii järjestelmän ja ihmisen välistä suhdetta. Tämän lisäksi ergonomia on ammattiala, jossa optimoidaan ihmisen hyvinvointi ja järjestelmän suorituskyky, käyttämällä suunnittelussa teoriaa, dataa ja metodeja. (Aulanko, Huovinen, Kiikka & Lehtinen 2010, s. 10). Ergonomia on monitieteistä, siihen liittyy tekniikka ja tavallisimmin psykologia ja fysiologia, muiden ihmistä koskevien tieteenlajien lisäksi. Ihmistä ei voi muuttaa, teknisen ympäristön ollessa täysin ihmisen vaikutuksen alaisena, joten yleinen käsitys on, että tekninen ympäristö sopeutetaan ihmiseen. (Saari 1981, s. 9).

### 2.5.1. Ergonomia, tavoitteet ja käsitteet

IEA on jakanut ergonomian kolmeen osa-alueeseen: fyysiseen ergonomiaan, kognitiiviseen ergonomiaan sekä organisatoriseen ergonomiaan (Aulanko et al. 2010, s. 10).

Fyysinen ergonomia koskee ihmisen fyysisiä reaktioita kehoon kohdistuviin kuormiin. Aiheina ovat mm. työpisteen suunnittelu, materiaalien käsittely ja työn aiheuttamat riskitekijät. Ihmisen on syytä käyttää kehoaan oikein työssään, jotta välttää töiden tekemiseltä kehoa vastaan. Osaltaan myös huonot ympäristötekijät voivat aiheuttaa huonoja työasentoja, mutta hyvä, työssä käytettävä tekniikka ja työn kokonaishallinta auttavat korjaamaan huonojen asentojen rasitukset. (Aulanko et al. 2010, s. 10).

Kognitiivinen ergonomia käsittelee älyllisiä toimintoja, kuten havainnointia, tarkkaavaisuutta, muistia jne. Aihealueina ovat mm. älyllinen työkuormitus, päätöksenteko, ihmisten ja koneiden välinen vuorovaikutus. Nykyään kuormitus työelämässä on yhä enemmän psyykkistä; jatkuvan aistien ylikuormituksen, kiireen ja työn uusien menetelmien ja olosuhteiden yhdistämisestä syntyy stressioireyhtymä. Kognitiivisen ergonomian puitteissa on hyvin vähän tutkittu ihmisen jaksamista. (Aulanko et al. 2010, s. 11).

Organisatorinen ergonomia liittyy työn organisointiin, organisaatorakenteisiin, käytäntöjen ja työprosessien optimointiin jne. Tutkimuskohteita ovat työhön liittyvät mm. etiikka, motivaatio, ohjaus ja valvonta. Työtehtävien toimiva suunnittelu ja niiden laittaminen tärkeysjärjestykseen ovat haasteita, joihin löytyy ratkaisu yleensä nykypäivän palveluiden ja koneiden avulla. (Aulanko et al. 2010, s. 11).

Ergonomiset ratkaisut voivat parhaimmillaan tuoda lisää taloudellista tuottavuutta sekä lisätä työnteon turvallisuutta ja terveellisyttä, jotka voivat vaikuttaa tuottavuuteen. Heikot ergonomiset ratkaisut lisäävät työntekijöiden poissaoloja, laskevat työmotivaatiota sekä työssä viihtyvyyttä. Fyysisinä oireina suomalaisessa työelämässä ovat tuki- ja liikuntaelinten sairaudet, selkä- ja niskavaivat sekä käsien ja alaraajojen kiputilat. Henkisistä taakoista kertovat laajasti esille tulleet masennussairaudet ja loppuun palaminen, jotka edustavat nykyään suurimpia haasteita työn jaksamisessa. (Aulanko et al. 2010, s. 12).

Optimaaliset työtilanteet voivat seuraamuksiltaan ulottua myös vapaa-aikaan, kokonaisvaltaisina muutoksina ihmisessä. Kehittävän työn yleispiirteitä ovat:

- luovuus
- uuden oppiminen ja kehittämisen edistäminen
- korkeat moraaliset vaatimukset (tunnollisuus, itseluottamus jne.)
- työyhteisön sisäisen toiminnan parantaminen

- kehon fyysisen suorituskyvyn kehittäminen.  
(Saari 1982, s. 10).

### 2.5.2. *Ergonomia lainsäädännössä*

Työturvallisuuslaissa (23.8.2002/738) määritellään työnantajan velvollisuudeksi (8 §) työolosuhteiden parantaminen eri toimenpiteiden kautta. Työnantajan on myös (12 §) työympäristön mm. rakenteiden, työtilojen ja tuotantomenetelmien suunnittelussa otettava huomioon niiden vaikutukset työntekijöiden terveyteen sekä (13 §) työn suunnittelussa otettava huomioon työntekijän fyysiset ja psyykkiset edellytykset, jotta työstä aiheutuvaa kuormitusta voidaan lieventää. Lisäksi (24 §, mom. 1–4) määritellään työpisteen ergonomiaa sekä työntekijää koskevia työasentoja ja työliikkeitä seuraavasti:

- riittävästi tilaa työn tekemiseen ja asennon vaihtamisen mahdollisuus
- mahdollisuus apuvälineiden käyttöön työn keventämiseen
- jos apuvälineitä ei voida käyttää, ovat käsin tehtävät nostot tehtävä mahdollisimman turvallisiksi
- toistorasituksesta johtuva haitta vältetään tai minimoidaan.  
(Työturvallisuuslaki 2002/738, 8 §–24 §).

### 2.5.3. *Ergonomian tarkastelukohteita työjärjestelmässä*

Ihmisen, työvälineiden ja työympäristön katsotaan olevan järjestelmä, jossa yhden osatekijän poistaminen aikaansaa muutoksia toisten osien toiminnassa. Optimoimalla ainoastaan yhtä tekijää ei kokonaisuudessa päästä ihannetulokseen. Siksi ergonomiaa tulisi ajatella ihmisen ja työn yhteisjärjestelmänä. (Saari 1982, s. 11).

Yhteisjärjestelmä voidaan jakaa ergonomian tarkastelukohteiksi:

- aistit ja informaation vastaanotto – näkö, kuulo, liike, kosketus jne.
- psyykkinen työ – kyvyt ja taidot, motivaatio, henkinen kuormitus, stressi jne.
- fyysinen työ – lihastyö ja väsyminen, työliikkeet, antropometria, työasennot jne.



- työympäristön olosuhteet – valaistus, melu, lämpöolosuhteet, ilmanvaihto jne. (Aulanko et al. 2010, s. 13–63).

Erilaiset ergonomiset puutteet työssä saavat aikaan seurauksia ihmisessä erilaisin aikavälein. Ne voivat ilmetä heti tai vasta vuosien tai vuosikymmenten jälkeen. Välitöntä vaikutusta aiheuttavat puutteet mm. työpisteen mitoituksissa ja liialliset vaatimukset havainnonteolle työssä, johtaen mm. uupumiseen, viihtymättömyyteen ja tapaturmiin. Pidemmällä aikavälillä katsoen vaikuttavat esim. työn pakkotahtisuus, yksipuolisuus ja ruumiillinen kuormittavuus, jotka saavat aikaan mm. työperäisiä sairauksia, motivaation vähenemistä sekä kielteisiä kokemuksia työstä. (Saari 1982, s. 13).

Teknisen kehittymisen kautta työn sisältö on muuttunut aikojen kuluessa. Ihmiseen kohdistuva kuormitus sekä työnjako ihmisen ja koneiden välillä on muuttunut. Teknistymisen edessä ihmiseen kohdistuu enemmän psyykkistä ja vähemmän fyysistä kuormitusta. (Saari 1982, s. 13)

*Taulukko 2. Teknistymisen asteet.*

1. Työ työkaluilla
<ul style="list-style-type: none"> <li>• työkalut laajentavat ihmisen ulottuvuuksia ja vahvistavat hänen voimiaan</li> <li>• työkalut eivät korvaa mitään ihmisen toimintoja, vaan voima syntyy edelleen lihaksissa ja ihminen ohjaa työkalujen liikkeitä</li> </ul>
2. Työ klassisilla koneilla
<ul style="list-style-type: none"> <li>• kone korvaa lihasvoiman</li> <li>• ihminen hoitaa säätö- ja ohjaustoimenpiteet (työliikkeiden valinta ja ajoitus)</li> </ul>
3. Työ ohjelmoiduilla koneilla
<ul style="list-style-type: none"> <li>• koneen suhteellisen kiinteä toimintaohjelma valitsee työliikkeet ja niiden ajoituksen</li> <li>• ihminen ohjelmoi ja valvoo koneen toimintaa</li> </ul>
4. Työ sopeutuvilla (adaptiivisilla) koneilla
<ul style="list-style-type: none"> <li>• kone ”oppii” ja sopeutuu vallitseviin olosuhteisiin</li> <li>• ihminen kehittää konetta</li> </ul>

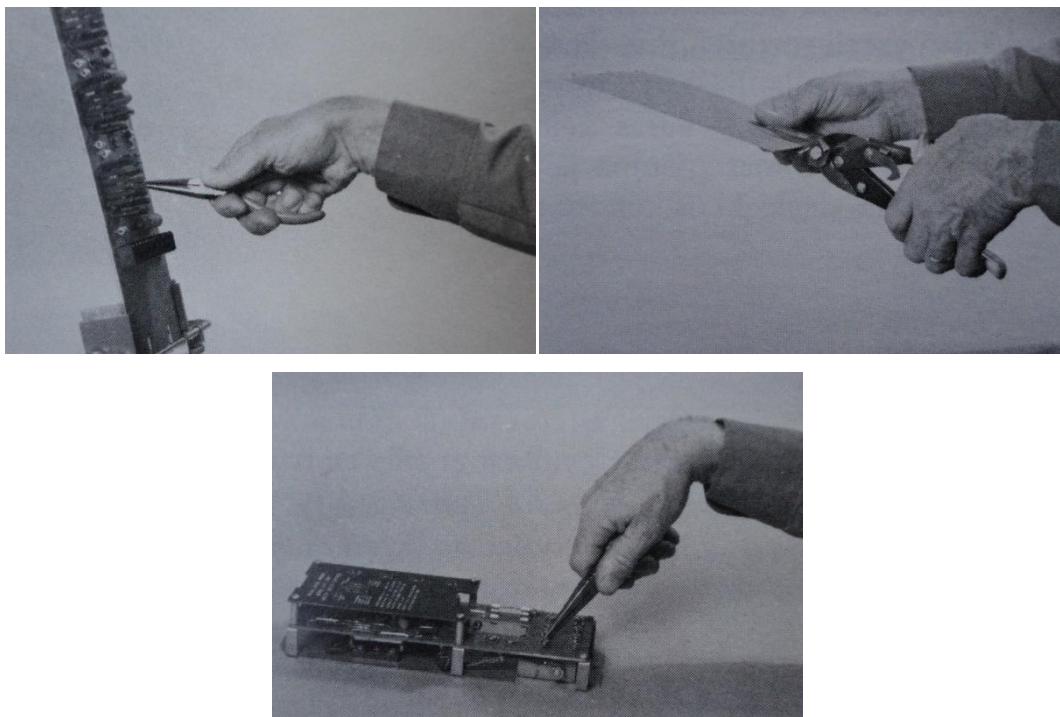
(Saari 1982, s. 13).

#### *2.5.4. Fyysisen työn piirteitä*

Elimistön rakenteet kuormittuvat monin eri tavoin fyysisen työn kautta. Työn luonteesta johtuen eri rakenteet voivat rajoittaa työtä. Fyysinen työ, tai lihastyö, voidaan jakaa kahteen tyyppiin: dynaamiseen ja staattiseen työhön. Dynaamisessa työssä lihas vuorotellen supistuu ja palaa alkupituuteensa, kun taas staattisessa työssä lihas on jatkuvasti supistunut. (Saari 1982, s. 76).

Dynaamisessa työssä lihas toimii pumppuna, välillä supistuen ja rentoutuen, joka vilkastuttaa verenkiertoa ja aineenvaihduntaa. Kuormituksen ollessa tasapainossa hapen ja energian saannin kanssa, lihakset eivät väsy. Staattista työtä tehdään esimerkiksi niin, että havaittavaa liikettä ei tapahdu, kuten pidettäessä yllä raajan tai kehon asentoa. Staattinen työ vaikuttaa verenkierron ja siten aineenvaihdunnan hidastumiseen lihaksessa aiheuttamalla suurempaa lihasväsymystä verrattaessa dynaamiseen lihastyöhön. Kevyt dynaaminen työ palauttaa tehokkaimmin staattisesta työstä kuormittuneen lihaksen, aineenvaihdunnan vilkastumisen avulla. (Aulanko et al. 2010, s. 33).

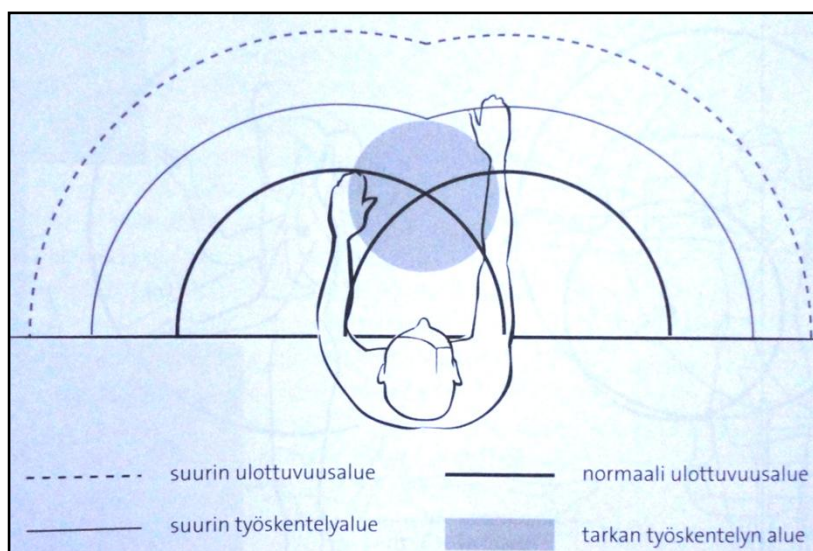
Työliikkeet syntyvät lihasten sekä liikunta- ja tukielimistön toiminnan seurauksena, suurimman osan työliikkeistä ollessa käden liikkeitä. Käsien monipuoliset käyttömahdollisuudet luovat hyvin laajan skaalan käyttökohteita, raskaasta kantamisesta hienointa tarkkuutta vaativaan kirurgiaan. Työliikkeiden kannalta käsien nivelet ja nivelsiteet ovat kriittisiä, esim. olkanivel ja rannenivel. (Aulanko et al. 2010, s. 33). Nämä kohdat useimmiten rasittuvat työssä johtuen jänteiden ja hermojen ahtaista kulkuteistä. Toistuvat työliikkeet voivat aiheuttaa jänteiden rasittumista sekä hermojen puristumista ja ilmetä esim. särkynä ja puutumisena. (Saari 1982, s. 87). Tämän takia työliikkeissä pitää välttää nivelten ääriasentoja, suurta lihasvoimaa nivelen äärialueilla, pienten lihasten liiallista kuormittumista, voimakkaita puristusotteita sekä saman liikkeen toistoa (Saari 1982, s. 87; Aulanko et al. 2010, s. 35).



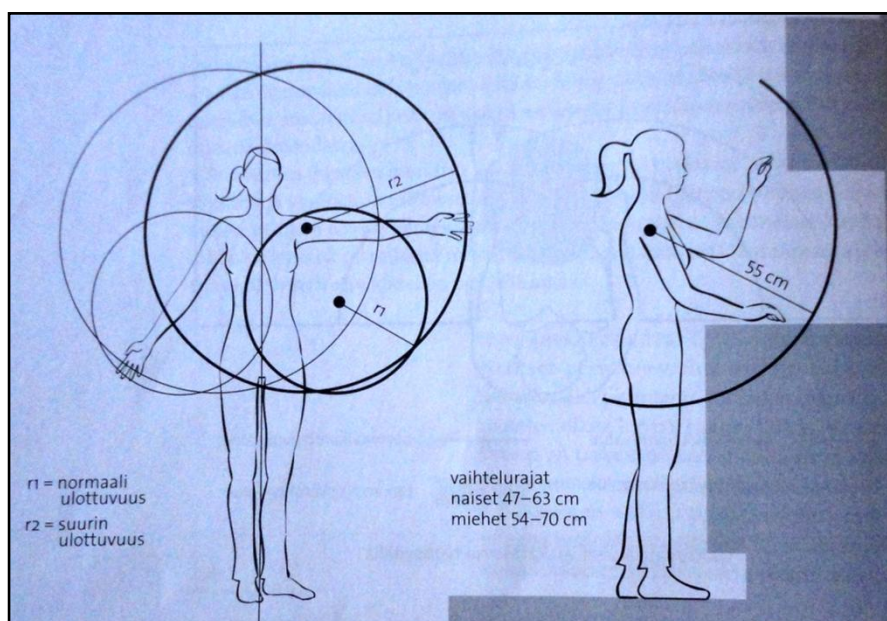
*Kuva 18. Ranteen kulmat erilaisia työkaluja käytettäessä (Pietiläinen 1992, s. 115).*

Antropometria, ihmisen mm. kokoa ja ulottuvuuksia selvittävä ala, antaa tietoa suunnitellussa ympäristössä ihmisen mittakaavan mukaan. Staattinen antropometria käsittelee ihmisen pysyviä mittoja, kuten ihmisen kokoa ja ruumiinosien pituuksia, kun taas dynaaminen antropometria tutkii vartalon ja ruumiinosien liikeratoja ja ulottuvuuksia jne. Staattiset mitat perustuvat suurten ihmisjoukkojen mittauksiin, esim. puolustusvoimien tutkimuksiin. Tuloksista voidaan saada keskimääräiset mitat, jotka ovat pohjana suunnittelulle, ihmisten mittojen noudattaessa normaalijakaumaa. Ohjemittoina voidaan käyttää arvoja, jotka oletetaan sopivan 90 % käyttäjistä, huomioiden sukupuoli ja ikä, jotka vaikuttavat mittasuhteisiin. Esim. työtasojen korkeussuosikset määräytyvät ihmisen kyynärpääpituuteen (korkeus lattiasta kyynärpäähän, sen ollessa 90 asteen kulmassa), joka johtuu kyynärpääpituuden pienemmästä vaihteluvälistä ihmisen pituuteen verrattuna. (Aulanko et al. 2010, s. 39–40).

Tilasuunnittelussa on mitoitettava esim. kulkuväylät, ovet ja vuoteet kookkaimpien henkilöiden mukaan (Aulanko et al. 2010, s. 39–40). Useimmiten on helpompaa muuttaa työpiste pienikokoiselle sopivaksi kuin laajentaa liian pientä tilaa suurikokoiselle sopivaksi (Pietiläinen 1992, s. 14). Dynaamisen antropometrian tärkeimpiä mittoja ovat yläraajojen ulottuvuusalueet, josta erotetaan vaaka- ja pystysuora ulottuvuus (Aulanko et al. 2010, s. 40–41).



Kuva 19. Ihmisen ulottuvuusalueet vaakatasossa työpöydällä (Aulanko et al. 2010, s. 41).



Kuva 20. Ihmisen pystysuorat ulottuvuusalueet työpöydällä (Aulanko et al. 2010, s. 42).

Työasennot ovat suuri tekijä katsottaessa työntekijän energiankulutusta. Kaikkein raskaimmat työasennot ovat kumartuneet ja jännittyneet asennot. Työtä voidaan keventää vaihtamalla esim. kumara asento suoraksi tai seisovasta asennosta istuvaksi. Huonon työasennon syyinä voi olla työntekijän jännittynyt ja harjaantumaton työsuoritus, työtason epäsopivuus korkeuden puolesta, tai sopimattomat työvälineet. (Aulanko et al. 2010, s. 41–42).

Työasentojen vaihtelu työnteon aikana on yksi tapa jakaa rasitusta keholle. Ihmisen ei tulisi esim. istua paikallaan tuntia kauempaa, vaan nousta jaloittelemaan välillä. Hyvässä seisomatyöasennossa pää on keskiasennossa, selkäranka on takaa katsottuna suora ja tekee sivusta katsottuna loivan S-kirjaimen mutkan, hartiat ovat rentoina alhaalla, käsivarret ovat lähellä vartaloa, ranteet pysyvät suorina sekä paino on tasaisesti molemmilla jaloilla. Seisoma-asento soveltuu erityisesti töihin, joissa tarvitaan voimankäyttöä ja laajaa ulottuvuutta, sekä paikallaan että siirtyen. (Aulanko et al. 2010, 44–46).

Istumatyössä kuormitus lisääntyy selän ja hartioden alueella, mutta kevenee jalkojen ja kokonaiskuormituksen kannalta verrattaessa seisomatyöhön. Istumatyössä tulee kiinnittää erityistä huomiota istuimeen ja sen säädettävyyteen sekä istuma-asentoon, välttämällä erityisesti kumaraa työasentoa. Yksipuolisesta istuma-asennosta voi seurata verenkiertohäiriöitä, turvotusta ja särkyä jaloissa sekä selkä-, hartia-, että niskakipeytymistä (Aulanko et al. 2010, 44–46).

## **2.6. Työn tutkiminen**

Työntutkimuksen tarkoituksena on kehittää tuotannon perusteita, tuottavuutta ja kannattavuutta sekä työhyvinvointia, turvallisten ja tehokkaiden menetelmien kautta. Työntutkimusta tarvitaan tavoitteiden asettamisessa, tuotannon suunnittelussa ja tasapainotuksessa sekä resurssien kaavoituksessa ja kuormituksen tutkimisessa. Kriittinen ajattelu on myös tärkeää työntutkimuksessa. Tutkimuksen aikana on käsiteltävä kriittisesti kaikkia osia, jotka liittyvät työhön, sen tehokkuuteen ja turvallisuuteen vaikuttaviin tekijöihin. (Ahokas 2011, s. 5). Tuottavuustyön ja työntutkimuksen hyödyistä voivat nauttia sekä työnantaja että työntekijä. Työnantajan hyödyt ovat tuottavuuden ja työsuhteturvan parantuminen. Työntekijän hyödyt ovat työtehtävien monipuolistumisen ja helpottumisen kautta sekä ergonomian että turvallisuuden parantuminen, valottaa Ahokas (2011, s. 5). Lisäksi Ahokas tähdentää yrityksen tuottavuuden ja kilpailukykyisyyden olevan työntekijän suurin turva.

### 2.6.1. Työntutkimuksen kokonaisuus

Työntutkimuksen tutkimusmenetelmiä voidaan tarkastella eri näkökulmista tavoitteiden mukaan. Aulanko et al. (2010, s. 143) jakavat työntutkimukset tilanteesta ja tarpeesta riippuen esim. kokonaisuus-, käyttäjä-, ympäristö-, tuote- tai taloudellisuuskeskeisyyden mukaan. Kokonaisvaltainen tutkiminen on hyvin laaja alue, jossa otetaan huomioon kaikkien muiden kasantokantojen ominaisuudet ja painotetaan kokonaisuuden optimointia. Jotta tässä onnistuttaisiin, voi olla parempi käsitellä aiheita ensin kapeasta näkökulmasta ja sitten tuoda ne yhteen kokonaisuudeksi, väittävät Aulanko et al. (2010, s. 143). Esimerkiksi käyttäjäkeskeisestä näkökulmasta tehty tutkimus keskittyy käyttäjän jokapäiväisen elämisen kannalta keskeisiin asioihin, kuten käytettävyyteen ja turvallisuuteen. Ympäristökeskeisessä tarkastelussa painotetaan ekologisia tekijöitä, kuten elinkaarianalyysia ja tuotteen vaikutusta ympäristöön lähellä ja kaukana. Näkökulman ollessa tuotekeskeinen käsitellään itse palvelua tai tuotetta, painotetaan tuotteen tai palvelun kaikkien osien toimivuutta ja tasapainoa keskenään. Tehtäessä tutkimusta taloudellisesta näkökulmasta kiinnitetään huomiota resurssien asiaankuuluvaan käyttöön, kuten ajankäytön tarkoituksenmukaisuuteen ja työkuorman tasaiseen jakautumiseen. (Aulanko et al. 2010, 143).

Ahokkaan (2011, s. 6) mukaan työntutkimuksessa kiinnitetään huomiota kolmeen kohtaan: taloudelliseen, teknologiseen ja työntekijäkohtaiseen näkökulmaan. Taloudellisen näkökulman yhteydessä tuodaan esille työn ja sen menetelmän kustannusvaikutuksia. Teknologisesta näkökulmasta tarkastellaan mahdollisuudet uuden tekniikan, välineiden sekä prosessien hyödyntämiseen. Työntekijäkohtaisessa näkökulmassa kartoitetaan mm. ergonomiaa ja turvallisuutta, jatkaa Ahokas (2011, s. 6).

Ahokkaan (2011, s. 5) mukaan työntutkimuksella tarkoitetaan yleisesti ottaen tuottavuuden kehittämisen johdonmukaisia menetelmiä sekä tekniikoita. Ahokas (2011, s. 6) selventää työntutkimuksen tavoitteiksi selvittää ja kehittää tutkimuksen alaisena olevan työn menetelmiä, ergonomiaa ja ajankäyttöä sekä standardisoida ja opastaa työntekijöitä uusien menetelmien käytössä. Näin ollen Ahokkaan mukaan työntutkimukseen voidaan katsoa kuuluvan sen tavoitteiden mukaan seuraavat osa-alueet:

- menetelmätutkimus - kehittää taloudellinen, turvallinen ja tehokas työmenetelmä
- työn vakiinnuttaminen - standardisoida tehokkain menetelmä
- työnopastus - opastaa työntekijöille tehokkain menetelmä

- työnmittaus - työhön kuluva ajan tutkiminen.  
(Ahokas 2011, s. 6).

Tehtäessä työntutkimusta on valittava tilanteeseen sopiva menetelmä, mitä tutkimuksella haetaan, minkälaista tietoa ja kuinka paljon sitä halutaan sekä mikä taho käyttää tietoja ja mitkä ovat valmiudet tulkita ja soveltaa saatua tietoa. Tulosten tulkinnassa on esim. otettava huomioon erityisryhmät ja niiden tarpeet sekä mittaamisen ja näytteiden oton riittävyys esim. työsuoritusten tutkimisessa. Tuloksia voidaan tuottaa sekä numeerisesti että verbaalisesti, arvioijia voi olla useampia, mutta arviointimenetelmä on pidettävä samana koko tutkimuksen ajan – ellei ole mahdollista tehdä koko tutkimusta uudelleen. (Aulanko et al. 2010, s. 144–145).

#### *2.6.2. Työntutkimuksen hyödyt*

Toiminnan laatuun ja joustavuuteen on jatkuvasti panostettava sekä yrityksen että sen henkilöstön. Tämä takaa asiakastarpeiden toteuttamisen kilpailukykyisellä tavalla. Tuotannossa toimenpiteitä keskitetään esim. läpäisyajan lyhentämiseen, toimitusvarmuuden nostamiseen ja tuotteen jalostusketjun kehittämiseen. Toiminnan kehittämisessä voidaan käyttää työntutkimusta hyvänä välineenä, jonka avulla voidaan mm.:

- kehittää työmenetelmiä keveämmiksi ja turvallisemmiksi
- parantaa ergonomiaa
- kehittää palkkausjärjestelmää
- nostaa koneiden käyttöastetta
- lyhentää läpäisyaikaa
- parantaa tuotteiden valmistettavuutta.

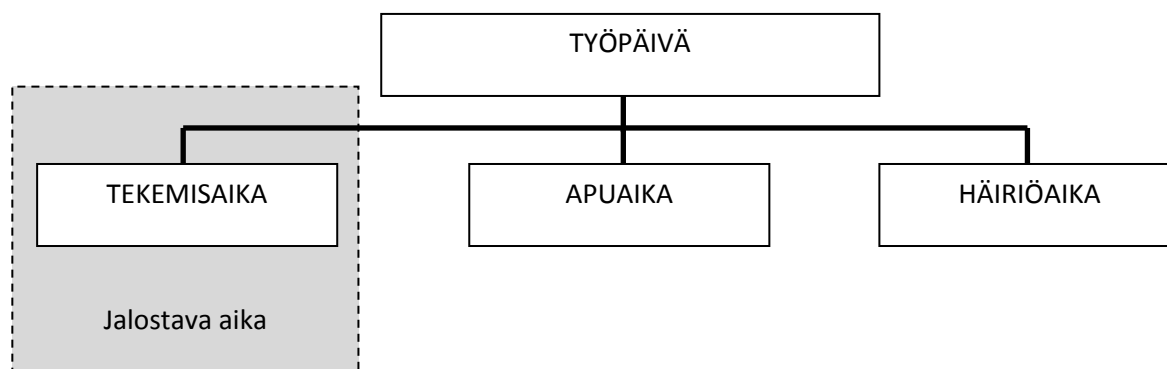
(Ahokas 2011, s. 7).

Jalostavan työajan lisääminen on tuottavuuden kehittämisessä tärkeää, jalostavan työajan ollessa se työaika, jonka aikana tuotteen tai palvelun jalostusarvo nousee. Jalostava työaika on vain yksi osa työpäivän aikana kulutetusta ajasta, muuna aikana tuotteen arvo ei nouse. Keinoja jalostavan työajan osuuden lisäämiseen ovat mm. materiaalin käsittelyn vähentämi-

nen ja kuljetusten poistaminen, asetus- ja valmisteluaikojen lyhentäminen, työpaikan järjestyksen parantaminen sekä valmiuksien luominen työn tekemiselle.

### 2.6.3. Työmittauksen käsitteitä

Työmittauksessa työjakso jaetaan erilaisiin aikalajeihin, jolloin saadaan työajan ja siihen kuuluvat tapahtumat helpommin analysoitaviksi erillisinä kokonaisuuksina. Kuvassa 21 on esitettyinä pääaikalajit. Ajankäytön ja jalostavan työn osuuden erittelemiseksi on erityisen tärkeää jakaa tapahtumat riittävän tarkkoihin aikalajeihin. Yleensä työjakso jaetaan tekemisaikaan, apu aikaan ja häiriö aikaan. Tekemisaikaa on se aika, joka kuluu tuotteen jalostusarvon nostamiseen sekä tuotteen valmistusta edistävien työtehtävien tekemiseen. Apuaikaa ovat ne tarpeelliset tehtävät ja tapahtumat, jotka eivät suoraan edistä työn valmistumista, mutta jotka ovat tarpeellisia työn varsinaiselle suorittamiselle. Häiriöaikaa ovat odottamattomat keskeytykset, konerikot, työkalujen etsimiset jne. Tarpeellista voi olla jakaa työjakso tarkempiin aikalajeihin, jolloin erityisesti voidaan keskittyä häiriöaikojen määrittelyyn, joka mahdollistaa tarkempien johtopäätösten tekemistä. (Ahokas 2011, s. 11).



Kuva 21. Henkilötyön jakautuminen aikalajeihin (Ahokas 2011, s.13).

### Harjaantuminen

Toistuvissa rutiinitehtävissä työn tekemiseen kuluva aika vähenee toistokertojen lisääntyessä harjaantumisen myötä. Yksinkertaiset työvaiheet ja liikesarjat pelkistyvät rutiinisuuksiksi ja työntekijän harkinta- ja opastustarve vähenee oppimisen kautta, suoritusvarmuus ja liikkeenopeus kasvavat myös. Harjaantuminen vaikuttaa kaikissa työtehtävissä, mutta erityisesti se voidaan havaita rutiinisuuksissa. Standardisoinnin ja työn vakiinnuttamisen tehokkuus rakentuu toistojen lisäämiseen ja harjaantumisen hyväksikäyttöä. Nk. oppimiskäyrää käyte-



tään usein kuvaamaan harjaantumista, siinä kuvataan työhön kuluvan ajan vähenemistä suhteessa toistokertoihin (katso kuvat 22a sekä 22b). Harjaantuminen tulee ottaa huomioon työmittauksessa, jotta saadaan luotettavaa tietoa. Mikäli esim. normiaikaa määriteltäessä käytettävä työmenetelmä ei ole vakiintunut tai työntekijät eivät ole harjaantuneet, saadaan tulokseksi virheellinen normiaika. (Ahokas 2011, s. 15).

$$K_n = K_l n^b$$

jossa

$K_n$  = kappaleen vaatima valmistusaika kun  $n$  kappaletta valmistettu

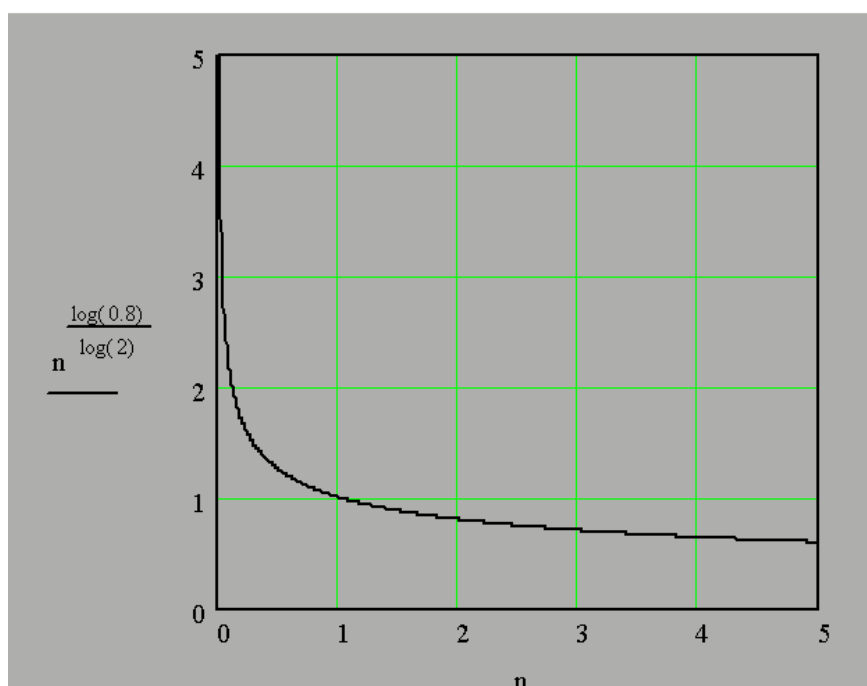
$K_l$  = alkuperäinen valmistusaika

$n$  = valmistettujen kappaleiden kumulatiivinen määrä

$r$  = oppimiskerroin esim. 80 % = 0.8

$b = \frac{\log r}{\log 2}$

Kuva 22a. Oppimiskäyrän kaava (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 318).



Kuva 22b. Kaavio oppimiskäyrästä (Uusi-Rauva et al. 2003, s. 318).

## **Joutuisuus**

Joutuisuudella kuvataan työntekijän tietyllä menetelmällä tehtyä työn tulosta. Se tarkoittaa työn etenemisvauhtia, joka vaikuttaa suoraan tuottavuuteen ja tulokseen. Tarkoituksena on normalisoida työsuoritus ja määrittää työmäärä, joka voidaan edellyttää jokaiselta harjaantuneelta työntekijältä. Joutuisuus vaikuttaa erityisesti käsin tehtävään vakiintuneeseen työsuoritukseen. Vastaavasti työssä, jossa koneita käytetään paljon tai työmenetelmä ei ole vakiintunut, joutuisuus vaikuttaa vähemmän. Työntekijän joutuisuuteen vaikuttavat taito, halukkuus ja olosuhteet. Jos työntekijä ei ole harjaantunut tehtävään tulee tämä huomioida joutuisuuden määrittelyssä. Normaalijoutuisuus tarkoittaa työliikkeiden tapahtumista normaalilla nopeudella, olosuhteiden ja työmenetelmän ollessa normaalit. Tällöin kehon eri osien liikenopeudet vastaavat normia – normaaliliikenopeutta – jota MTM-järjestelmien (Motion – Time Measurements) taulukkoajat vastaavat. (Ahokas 2011, s. 16).

## **Elpyminen**

Elpymistarve syntyy työtehtävien kuormittavuudesta, olosuhteista, työasennoista, kuormituksen kestosta, työn monotonisuudesta ja tarkkaavaisuuskuormituksesta. Elpymistauoilla palaudutaan työn aiheuttamasta kuormituksesta, jotka juontuvat työtehtävien sisällöstä ja järjestelystä sekä työmenetelmästä. Tehtäessä työntutkimusta voidaan selvittää mahdollisuuksia vähentää työn kuormittavuutta ja elpymistarvetta järjestelemällä työ uudestaan tai kehittämällä työmenetelmää. Työtehtävien kierrolla voidaan pienentää työstä johtuvaa kuormittavuutta, kuten esim. varmistamalla että työkierrossa on selvästi kevyempiä tai toisenlaisia työvaiheita, jotka toistuvat säännöllisesti. Taukojen tehokkuus riippuu niiden kestosta ja rytmityksestä. Useampi lyhyt tauko edistää elpymistä paremmin kuin muutama pitkä tauko – taukojen kestosta riippumatta. (Ahokas 2011, s. 17).

## **Työn normiaika**

Työn normiaika on se tavoiteaika, joka tarvitaan tietyn tunnetun työn tekemiseen. Tämä aika on yhteydessä käytettävään menetelmään ja sen tehokkuuteen. Normiajan määrittämiseksi on tiedettävä työskentelytapa ja varmistuttava menetelmän noudattamisesta. Normiaika on se aika, joka kuluu harjaantuneen työntekijän työskennellessä määritetyn työmenetelmän mukaan normaaleissa olosuhteissa tavallisella liikenopeudella. Vertailemalla, laskemalla, arvioimalla tai työnmittauksen menetelmillä voidaan määrittää normiaika, käyttötarkoituksen nimittäessä määrittystarkkuuden. Huomionarvoista on, että normiaikaa ei sovita vaan mitataan tai määritetään. (Ahokas 2011, s. 18).

## 2.7. Toyota Production System (TPS) ja Lean production

Toyota tuli maailman huomion keskipisteeseen ensimmäistä kertaa 1980-luvulla, kun selvisi, että japanilaisessa laadussa ja tehokkuudessa on jotain erityistä. Japanilaiset autot kestivät pidempään ja vaativat vähemmän korjauksia verrattuna amerikkalaisiin autoihin. Seuraavalla vuosikymmenellä selvisi, että Toyotalla oli selkeästi muita japanilaisia autonvalmistajia korkeampi tuotantolaatu, joka johtui Toyotan tuotesuunnittelusta ja tuotannosta. Toyota toi myös markkinoille uusia automalleja nopeammin ja luotettavammin. Tuotteilla oli kuitenkin kilpailukykyinen hinta, huolimatta siitä, että japanilaisille työntekijöille maksettiin suhteellisen korkeaa palkkaa. Vaikutuksen teki myös Toyotan kyky löytää yhtiötä kohtaaviin ongelmiin ratkaisu ja nousta tilanteesta vahvempana kuin ennen. (Liker 2009, s. 20).

Suuri osa Toyotan menestyksestä johtuu sen tunnettuudesta tuottaa erittäin korkealaatuisia ajoneuvoja. Kuluttajat tietävät voivansa luottaa Toyotansa toimivuuteen, verrattuna amerikkalaisiin tai eurooppalaisiin autonvalmistajiin, joiden ajoneuvo suurella todennäköisyydellä joutuvat korjaamolle muutaman vuoden sisällä. Esimerkiksi vuonna 2003 Toyota kutsui takaisin 79 prosenttia vähemmän ajoneuvoja USA:ssa verrattuna Fordiin ja 92 prosenttia vähemmän Chrysleriin verrattaessa. (Liker 2009, s. 22).

### 2.7.1. Filosofia – pitkän tähtäimen ajattelu

Mikä on Toyotan menestyksen salaisuus? Toyotan tuotannon tasaisuus on suora tulos nk. operational excellenceista (”korkealaatuisesta työtavasta”). Toyota käyttää tätä strategisena aseena. Tämä korkealaatuinen työtapa perustuu osittain laatua parantaviin työkaluihin ja metodeihin, kuten just-in-time, kaizen, one-piece flow, jidoka ja heijunka. Nämä menetelmät osaltaan tekivät Lean-tuotannosta vallankumouksellisen, mutta työkalut ja tekniikat eivät kelpaa salaisiksi aseiksi, mikäli halutaan muuttaa yritystoimintaa. Syy miksi Toyota nautti niin suurta menestystä aloitettuaan näiden metodien käytön, johtuu yrityksen alusta asti käytössä olleesta syvemmästä ja yrityspohjaisesta filosofiasta, joka perustuu ihmistuntemukseen ja ihmisten motivointiin. Menestys johtuu erittäin pitkälle kyvystä kehittää johtajuutta, luoda tiimejä ja toimiva kulttuuri, asettaa strategioita, rakentaa yhteistyötä toimittajien kanssa sekä ylläpitää oppivaa organisaatiota. (Liker 2009, s. 23).

Liker (2009, s. 25) arvioi, että useimmiten yritykset, jotka ovat halunneet ottaa käyttöön Leanin toiminnassaan, ovat tehneet melko pinnallisia kokeiluja. Hän epäilee syynä tähän olevan yritysten liiallinen keskittyminen ”työkaluihin”, kuten 5S tai just-in-time, näkemättä Leania kokonaisjärjestelmänä, jonka täytyy tunkeutua jokaiselle organisaatiotasolle. Suurimmassa osassa yrityksiä, jossa Lean otetaan käyttöön, eivät korkeimmat johtajat ole osallisia niissä päivittäisissä toiminnoissa ja niissä jatkuvissa parannuksissa, jotka kuuluvat Leaniin. Toyotalla on toisenlainen lähestymistapa. (Liker 2009, s. 25).

### 2.7.2. *Prosessit – tuhlauksen eliminointi*

Liker (2009, s. 25) määrittää Lean-mäisen toiminnan käsittämään toimintaa, joka seuraa Toyota Production Systemia kaikilla osa-alueillaan. The Toyota Production System on Toyotan ainutlaatuinen tapa käsitellä tuotantoa. Se on Lean-tuotannon taustalla, tuotantoperiaate, joka on hallinnut tuotannon trendejä reilut kymmenen vuotta. Jotta tullaan Lean:mäiseksi tuottajaksi, vaaditaan ajatustapaa, joka keskittyy tuotteen jatkuvaan ”virtaukseen” arvoa tuottavien prosessien läpi (yksikappalevirta). ”Vetävä” järjestelmä, joka heijastaa asiakastarpeen täyttämällä vain ne osat, jotka tulevat käytetyiksi seuraavassa työpisteessä sekä yrityskulttuuria, jossa kaikki pyrkivät jatkuviin parannuksiin. (Liker 2009, s. 25)

Taiichi Ohno, TPS:n perustaja, ilmaisi asian lyhykäisyydessään: Ainoa asia, jonka teemme on että katsomme aikajanaa siitä hetkestä, kun asiakas tekee meille tilauksen siihen pisteeseen missä saamme rahat. Sitä aikaa lyhennämme poistamalla sen, mikä ei tuota arvoa. (Ohno 1988, s. ix).

Toyota kehitti tuotantojärjestelmänsä toisen maailmansodan jälkeen. Heillä oli täysin erilaiset ehdot liiketoiminnalleen verrattuna General Motorsiin tai Fordiin. Fordin ja General Motorsin luottaessa massatuotantoon, mittakaavaetuihin ja suuriin koneisiin tuottaakseen mahdollisimman monta osaa mahdollisimman halvalla, Toyotan markkinat olivat pienet sodanjälkeisessä Japanissa. Se joutui myös valmistamaan suuren määrän erilaisia ajoneuvoja samalla kokoonpanolinjalla voidakseen toimittaa asiakkaille haluamansa. Heidän toimintansa avain oli täten joustavuus. Tämä johti Toyotalle tärkeään löytöön: kun läpäisyajoja lyhennettiin ja keskityttiin pitämään tuotantolinjat joustavina, saatiin todellisuudessa korkeampaa laatua, tyytyväisempiä asiakkaita, korkeampaa tuottavuutta ja tehokkaampaa laitteiden ja pinta-alan käyttöä. Fordin perinteinen massatuotanto voi näyttää hyvältä tuotantomuodolta

mitattaessa kustannuksia yhtä osaa valmistavaa konetta kohti, mutta asiakkaat vaativat paljon suurempaa vaihtelua verrattuna perinteiseen tuotannon kustannustehokkaaseen tarjontaan. 1940- ja 1950-luvuilla Toyota keskittyi poistamaan ajan ja materiaalin tuhlauksen tuotantoprosessin jokaisessa vaiheessa, raaka-aineesta valmiiksi tuotteeksi. Tämä työmetodi muodostettiin, jotta pystytään täyttämään samat ehdot kuin useimmat yritykset nykyään: tarve nopeille, joustaville prosesseille, jotka antavat asiakkaille sen, mitä he tahtovat, kun he sen tahtovat, sen laatuksena kuin he sen haluavat ja edulliseen hintaan. (Liker 2009, s. 26).

Toyotan keskittyminen ”virtaukseen” on ollut globaalin menestysten perustana vielä 2000-luvullakin. Muitakin yrityksiä löytyy, joilla on lyhyt läpäisy aika, korkea varaston kiertonopeus ja nopea maksunkeruu tavoitteena kehittää nopeakasvuinen yritys. Tästä huolimatta näillä yrityksillä on pitkä matka ollakseen yhtä jalostunut ja Lean yritys kuin Toyota, ominaisuuksia, joita Toyota on kehittänyt vuosikymmenten ajan oppimisen ja kovan työnteon kautta. (Liker 2009, s.26).

Valitettavasti suurin osa yrityksistä käyttää yhä samoja massatuotantotapoja, jotka toimivat hyvin Henry Fordilla 1920-luvulla, kun joustavuus ja asiakkaiden tarpeet eivät olleet keskiössä. Massatuotannon suuntaus yksittäisten prosessien tehostamiseen menee ajassa taaksepäin Frederick Tayloriin ja hänen nk. ”scientific managementiin” 1900-luvun alkupuolella. Kuten TPS:n luojat, yritti Taylor myös saada pois kaiken tuhlauksen tuotantoprosesseissa. Hän teki työ- ja aikatutkimuksia ja yritti eliminoida jokaisen sekunnin turhia liikkeitä. Massatuotantoajattelijat ovat jo pitkään ymmärtäneet toimimattoman koneen arvoa tuottamattoman toiminnan: korjausta varten suljettu kone ei tuota osia jotka tuovat rahaa yritykseen. Verrattaessa Toyotan filosofian ristiriitaisilta vaikuttaviin totuuksiin arvoa tuottamattomasta tuhlauksesta (Liker 2009, s. 26–27):

- on useimmiten parempi antaa koneen käydä tyhjäkäyntiä ja keskeyttää osavalmistus, jotta vältetään ylituotannolta, joka on perustavanlaatuinen tuhlaus TPS:n mukaan
- on usein parempi pitää varastossa valmiita komponentteja voidakseen tasoittaa tuotantonopeutta, kuin tuottaa vaihtelevien asiakastilausten mukaan. Tuotannon tasoittaminen (heijunka) on tarpeen virtaus- ja imujärjestelmissä, jotta voidaan minimoida varastot toimitusketjussa.
- on usein viisainta olla valikoiva annettaessa toimijalle lisää välitöntä työtä tai korvata välillistä työtä välittömällä työllä. Kun kaikki tuhlaus otetaan pois toimijoiden arvoa

tuottavasta työstä, täytyy heidän saada korkealaatuista tukea samalla tavoin kuin kirurgia tuetaan monimutkaisen leikkauksen aikana.

- toimijoiden pitäminen työllistyneinä tuottamalla mahdollisimman nopeasti komponentteja ei välttämättä ole korkea prioriteetti. Komponentteja pitää ottaa esille asiakkaiden kysynnän mukaan. Annettaessa toimijoiden työskennellä nopeammin saadakseen vain enemmän heistä irti, on yksi ylituotannon muoto, joka tosiasiaassa johtaa lisääntyneeseen työllistämistarpeeseen.
- optimaalista on käyttää tietotekniikkaa harkiten ja on usein parasta työskennellä käsin. Näin silloinkin, jos on mahdollista automatisoida kustannuksin joita voidaan näennäisesti perustella henkilökunnan vähentämisellä. Ihminen on kaikkein joustavin voimavara mitä on saatavilla. Jos manuaalinen prosessi ei ole tehokas, se ei tule toimimaan silloinkaan kun se täytyy automatisoida tukeakseen prosessia.

(Liker 2009, s. 26–27).

Toisin sanoen vaikuttaa siltä, että Toyotan ratkaisut erityisissä ongelmissa pikemmin lisäävät tuhlausta kuin poistavat sitä. Tähän näennäisen paradoksaalisiin ratkaisuihin on selitys. Kun Ohno kulki työntekijöiden keskuudessa, hän tuli tietoiseksi jostakin todella merkittävästä koskien arvoa lisäämätöntä tuhlausta: kyseessä ei ole koneiden ja ihmisten loppuun ajamisesta. Sen sijaan kyse on siitä, kuinka raaka-ainetta käsitellään myytäväksi hyödykkeeksi. Tehtaalla kiertämisen tarkoitus Ohnolle oli löytää ne aktiviteetit, jotka tuovat lisäarvoa raaka-aineelle. Kaikki muut toiminnot pitää eliminoida. Hän oppi kartoittamaan raaka-aineen arvovirtauksen kohti valmista tuotetta, josta asiakas oli valmis maksamaan. Tämä oli täysin erilainen ajattelutapa verrattaessa massatuotantoon, jossa keskityttiin tunnistamaan, mittaamaan ja eliminoimaan ajan- ja työntuhlaus olemassa olevassa tuotantoprosessissa. (Liker 2009, s. 27).

Jos tekisi itse saman kierroksen tehtaalla kuin Ohno ja katsoisi oman organisaation prosesseja, näkisi kuinka materiaali, laskutus, huoltokäynnit ja prototyyppien tuotanto tuotekehityksen toimesta, tai jonkun muun hallinnollisen prosessin toimesta, muuntuu joksikin, jota asiakas haluaa. Mutta tarkemmin katsottaessa huomataan, että työ laitetaan usein sivuun pinoon johonkin, jossa se saa odottaa kauan kunnes se voidaan siirtää seuraavaan prosessi- tai tuotantovaiheeseen. Luonnollisesti kukaan ei pidä uudelleenohjaamisesta matkan aikana ja odottamisesta pitkissä jonoissa. Ohno ajatteli raaka-aineiden olevan yhtä kärsimättömiä. Jos suuria määriä esille otettua materiaalia jätetään odottamaan työstämistä, jos asiakkaat jotka haluavat saada palvelua joutuvat jonottamaan tai jos tuotekehitys saa prototyyppensä, joita he

eivät ehdi testata, silloin tämä seuraavan vaiheen odotus muuttuu tuhlaukseksi. Tämä tekee sekä sisäiset että ulkoiset asiakkaat kärsimättömäksi. Siksi TPS on asiakasperusteinen ja kysyy: Mitä arvoa tuotamme asiakkaan näkökannalta? Ainut, joka tuo lisäarvoa johonkin prosessiin – joko tuotantoon, markkinointiin tai johonkin kehitysprosessiin – on nimittäin fyysinen tai tietotekninen tuotteen, palvelun tai toimen muokkaus joksikin, jota asiakas haluaa. (Liker 2009, s. 27–28).

### *2.7.3. Työntekijät ja yhteistyökumppanit – kunnioita: haasta ja anna kasvaa*

Toyotan johtamisfilosofiana on kehittää johtajia yrityksen sisällä, sen sijaan että hankkisi tai ostaisi heitä ulkopuolelta. Yrityksen johtajien on elettävä ja ymmärrettävä Toyotan kulttuuria vuoden jokaisena päivänä. Yrityskulttuurin merkittävän ainesosan ollessa genchi genbutsu, ts. tarkastele senhetkistä tilannetta yksityiskohtaisesti, täytyy yritysjohtajien osata tämä ja todella ymmärtää, kuinka työ tehdaslattialla suoritetaan. The Toyota Wayn mukaan, pinnallinen kosketus johonkin Toyotaa koskevaan ajankohtaiseen tilanteeseen johtaa tehottomiin päätöksiin ja puutteelliseen johtamiseen. Toyota myös edellyttää johtajien opettavan alaisilleen The Toyota Wayn, joka merkitsee, että heidän täytyy elää ja ymmärtää tämän filosofian sisältö. (Liker 2009, s. 212).

Toyota Production Systemiä kuvaillessa voisi tuskin jättää mainitsematta sanaa tiimi (eng. team – joukkue). Kaikkien Toyotan toimintojen tarkoituksena on tukea tiimejä, jotka tekevät jalostusarvoa nostattavaa työtä. Tiimi ei kuitenkaan suorita jalostusarvoa nostattavaa työtä, vaan jokainen tiimin jäsenistä. Tiimit koordinoivat työn, motivoivat toisiaan ja oppivat toisiltaan. He tuovat esille innovatiivisia ideoita ja kontrolloivat toisiaan toverien kesken. Kuitenkin kaikkein tehokkainta on antaa yksittäisten henkilöiden suorittaa yksityiskohtainen työ, joka vaaditaan tuotteen kehittämisessä. Tiimit voivat kerääntyä palavereihin, mutta useimmiten ei aikaansaada kovinkaan paljon todellista tuotantoa, jos yksittäiset henkilöt viettävät kaiken aikansa palaverissa. (Liker 2009, s. 226).

Toyota on luonut erinomaisen tasapainon yksilöllisen työn ja tiimityön välille sekä yksilöllisen taidon ja tiimin tehokkuuden välille. Vaikka tiimityö on tärkeää, ei yksilöllisten taitojen tai Toyotan järjestelmän ymmärtämisen puutteita voida kompensoida liittämällä yksilöitä tiimiksi. Taitavia yksilöitä tarvitaan huipputiimin muodostamisessa. Siksi Toyota käyttää niin paljon aikaa ja voimavaroja mahdollisten työntekijöiden löytämiseksi ja testaamiseksi.

Yritys haluaa oikeat henkilöt muokkaamaan ja luomaan tiimityötä. Kun Toyota on valinnut hakijan satojen joukosta, kuukausien etsimisen jälkeen, välitetään viesti: yksilön taidot ja ominaisuudet ovat merkityksellisiä. Vuodet, jotka käytetään huolellisesti auttamaan jokaista yksilöä kehittämään perusteellista teknistä tuntemustaan, laajaa ammattitaitoa ja luonnollista ymmärrystä Toyotan filosofiaa kohtaan, kertovat yksilön tärkeydestä Toyotan järjestelmässä. (Liker 2009, s. 226).

Toyota edellyttää, tiimityön ollessa pohjana, jokaisen työntekijän tekevän sydämellään kaikkensa, jotta yritys menestyisi. Alkujaan TPS:ää kutsuttiin ”ihmistä kunnioittavaksi järjestelmäksi”. The Toyota Waysta puhuttaessa voidaan todeta, että kyseessä ei ole työntekijöiden palkitseminen, huolimatta siitä ovatko he sen ansainneet vai eivät. Kyseessä on heidän kunnioittamisen ja haastaminen samanaikaisesti. (Liker 2009, s. 226).

Toyotan yhteistyö toimittajiensa kanssa on tehnyt yrityksestä globaalin vertailuarvon siitä, kuinka yritykset voivat työskennellä yhdessä kohti yhteisiä tavoitteita. Toyotan perustamisen alkuvuosina, yhtiön tuotantovolyymi ei ollut tarpeeksi suuri, jotta se voisi tehdä isoja kauppia toimittajien kanssa. Joinakin päivinä yritys oli tekemättä ensimmäistäkään autoa, tarpeeksi korkealaatuisten komponenttien puuttuessa. Yritys teki silloin huomion siitä, kuinka tärkeää on löytää luotettavat yhteistyökumppanit. Ainoa mitä Toyota pystyi tekemään, oli tarjota yhteistyökumppaneilleen mahdollisuuden kehittää toimintaansa yhdessä ja saada yhteisiä tuloksia pitkällä aikavälillä. Tällä tavoin toimittajista, kuten myös Toyotan työntekijöistä, tuli osa laajempaa perhettä, jota kehitettiin ja jolle opetettiin The Toyota Way. (Liker 2009, s. 245).

Samoista yhteistyöperiaatteista on pidetty kiinni myös Toyotan ollessa maailmanlaajuinen yritys. Uusia toimittajia tarkastellaan läheisesti ja tilauksia tehdään hyvin vähän. Toimittajien on osoitettava rehellisyytensä ja saavutettava Toyotan korkeat laatu-, kustannus- ja toimitusstandardit. Jos he onnistuvat tässä ensimmäisten toimitusten kuluessa, saavat he yhä suurempia tilauksia. (Liker 2009, s. 245).

Toyotan kunnioitus laajaa toimittajaverkostoaan kohtaan ei tarkoita yrityksen olevan hemmotteleva tai sinisilmäinen. Aivan kuten Toyota haastaa omia työntekijöitään, jotta he kehittyisivät paremmiksi, uskoo yritys toimittajiensa haastamiseen. Toimittajakehittämisessä tulee saavuttaa useita vaikeasti saavutettavia tavoitteita, matkalla vielä korkeammalle asetettuihin tavoitteisiin. Toimittajat haluavat tehdä töitä Toyotan eteen, koska he tietävät tulevan-



sa paremmiksi ja saavansa kunnioitusta kollegoiden ja muiden asiakkaiden keskuudessa. Mutta harva toimittaja väittää Toyotan olevan helposti miellytettävissä. Toyotan näkökulmasta, kunnioitus tarkoittaa korkeiden odotusten asettamista toimittajille, heidän oikeudenmukaista kohteluaan ja opettamistaan. Kohtelemalla heitä alistuvasti tai opettaa moittimalla olisi hyvin epäkunnioittavaa. Tai vaihtamalla toimittajaa toiseen, sen ollessa vain muutaman prosentin halvempi (hyvin tavanomaista autoteollisuudessa) olisi mahdotonta. (Liker 2009, s. 245).

#### *2.7.4. Ongelmanratkaisu – jatkuva kehittyminen, jatkuva oppiminen*

Suurin ero Toyotan johtamistavassa toisiin yrityksiin verrattaessa on genchi genbutsu. Tämä koskee kaikkia yrityksen osastoja; tuotanto, tuotekehitys, myynti, jakelu tai markkinointi. Toyotalla genchi genbutsu tarkoittaa ”mennä paikanpäälle, jotta nähdään omin silmin ja ymmärretään tilanne itse”. Toyotan filosofian mukaan ei pidä luottaa ymmärtävänsä työongelmaa menemättä paikanpäälle tutkimaan asiaa. Toisten raportteihin tukeutuminen tai, että oletetaan asioiden olevan itsestäänselvyksiä, on täysi mahdottomuus. (Liker 2009, s. 268).

Toyota kannustaa ja edellyttää työntekijöiltään luovaa ajattelutapaa, innovoinnin ollessa tärkeintä, mutta lähtökohtaisesti on ymmärrettävä tilanteen kaikki näkökohdat. Tämä suhtautumistapa näkyy selvästi heillä, jotka ovat omaksuneet The Toyota Wayn. He eivät oleta asioiden olevan itsestäänselvyksiä ja tietävät mistä puhuvat, koska heillä on oma, suora tieto asiasta. Määräämällä insinöörit ja johtajat tehdaslattialle puoleksi tunniksi päivittäin, tutustumaan todellisiin tilanteisiin ei anna toivotunlaista tulosta, jos heiltä puuttuu kyky analysoida ja paneutua tilanteeseen. (Liker 2009, s. 269).

Genchi genbutsun oppiminen kestää Toyotan työntekijöiltä vuosikausia. The Toyota Way vaatii työntekijöiltään ja johtajiltaan ”syvää” ymmärrystä prosessivirtauksista, standardoiduista työtavoista jne. sekä kykyä kriittisesti arvioida ja analysoida ympärillä tapahtuvia asioita. Lisäksi heidän pitää tietää kuinka löytää juurisyy kaikkiin ongelmiin, joita he kohtaavat ja pystyä välittämään tämä tieto toisille tehokkaasti. (Liker 2009, s. 269–270).

Toyotalla päätöksiä tehdään konsensuksen kautta. Usein uudet työntekijät, tottuneina toisten yritysten tapaan tehdä päätöksiä, ihmettelevät kuinka Toyotan kaltainen tehokas yritys voi ylläpitää niin yksityiskohtaista, hidasta, raskasvetoista ja aikaa tuhlaavaa päätösprosessia.

Tosin Toyotalla muutaman vuoden työskennelleet uskovat vahvasti yrityksen tapaan tehdä päätöksiä ja ovat kehittyneet prosessin kautta – myös henkilökohtaisesti. (Liker 2009, s. 285).

Tapa kuinka päätökseen päästään on yhtä tärkeää Toyotalle kuin miltä itse päätös näyttää. Näkemällä vaivaa ja käyttämällä se aika joka vaaditaan oikein tekemiseen, on pakollista. Yritysjohdolla voi tosiaan olla ymmärrystä vääräksi osoittautuneen päätöksen puolesta, mikäli päätökseen johtava tie on ollut oikea. Jos päätyy tekemään ratkaisun, joka lopulta osoittautuu oikeaksi ratkaisuksi, mutta matkan varrella päätöksenteossa tehnyt oikaisuja, johtaa tämä nuhteluihin esimieheltä. Uusien aloitteiden täytäntöönpano sujuvasti ja ongelmattomasti johtuu usein pitkästä ja hartaasta suunnittelusta. Kaiken suunnittelun, ongelmanratkaisun ja kaiken päätöksenteon takana on suuren huomion kiinnittäminen jokaiseen pieneen yksityiskohtaan. Tämä toimintatapa on yleistä monen japanilaisen yrityksen kohdalla, eikä vähiten Toyotan kohdalla. Heillä jokainen kivi käännetään – jokainen tutkitaan myös mikroskooppilla. (Liker 2009, s. 285).

Huolellinen harkinta päätöksenteossa käsittää viisi kohtaa:

- Ottaa selville mitä todellisuudessa tapahtuu, sisältäen genchi genbutsu.
- Paneutuu alla piileviin syihin, jotka selittävät pinnalla näkyvän, kysymällä ”Miksi?” viisi kertaa.
- Harkitsee kaikkia mahdollisuuksia ja yksityiskohtaisesti motivoida valittua ratkaisua.
- Luo konsensuksen tiimin sisällä, mukaan lukien työntekijät ja ulkoiset yhteistyökumppanit.
- Käyttää hyvin tehokkaita kommunikointitapoja, kun toteutetaan kohtia 1-4, mieluiten yhtä paperinsivua.

(Liker 2009, s. 285).

Toyota ei priorisoi projekteja ainoastaan lyhytnäköisten taloudellisten hyötynäkökohtien mukaan. Yritys on toimintakeskeinen, joka tietoisesti ja tarkoituksella investoi pitkällä aikavälillä järjestelmiin, jotka käsittävät ihmisiä, tekniikkaa ja prosesseja, ja toimivat yhdessä tuottaakseen arvoa asiakkaalle. ”Järjestelmät” eivät ole informaatiojärjestelmiä vaan työtapoja ja sopivia menettelyitä, jotta voidaan toteuttaa tehtävä minimaalisella ajankäytöllä ja työpanoksella. Toyotan filosofia ja kokemus kannattelevat uskoa siihen, että keskittymällä eri-

laisiin prosesseihin yrityksessä ja niitä jatkuvasti kehittämällä saavuttaa yritys ne taloudelliset tulokset, joihin pyrkii. (Liker 2009, s. 299).

Jatkuvaa parannusta (kaizen) ei voida saavuttaa, jollei prosessi ole stabiili ja standardoitu. Kun prosesseista tehdään stabiileja ja saadaan prosessi, joka tuo esille hukkaa ja tehottomuutta kaikkialla, saadaan mahdollisuus oppia jatkuvasti tehdyistä parannuksistaan. Oppivalla organisaatiolla tulee olla pieni henkilöstövaihtuvuus, hitaat ylennykset ja hyvin selektiivinen nimittäminen suojatakseen tietopohjaansa. ”Oppiminen” tarkoittaa kykyä käyttää hyväksi aiempia kokemuksia ja edetä pienin askelin, uudelleen aloittamisen sijaan uuden henkilöstön ja uuden projektin kautta. (Liker 2009, s. 299).

Lopulta kaizenin ja oppimisen ydin on lähestymistapa ja tapa ajatella kaikkien johtajien ja työntekijöiden keskuudessa – asenne, joka sisältää itsetutkiskelua, mutta myös itsekritiikkiä, palavan halun itsensä parantamiseen. Länsimaissa kritiikki ja virheiden myöntäminen nähdään negatiivisena ja heikkouden merkinä. Toisia syyllistetään kärkevästi, jos jokin asia menee pieleen. Toyotalla toimitaan toisin, suurin merkki vahvuudesta on, kun joku myöntää virheensä, ottaa vastuun siitä ja ehdottaa toimenpiteitä, jotta tulevaisuudessa tältä välttyttäisiin. (Liker 2009, s. 299).

## 2.8. Yhteenveto

Teoriaosuudessa perehdyttiin tuotannon peruskäsitteisiin ja siihen liittyviin muihin osa-alueisiin. Näin saatiin syvempi ymmärrys tuotannosta ja erityisesti kokoonpanoon liittyvistä asioista kuten työnkulusta, asetusajasta ja ergonomiasta. Erityisesti Lean-tuotanto, jossa keskitytään asiakkaalle arvoa tuottavaan toimintaan, jatkuvan parantamisen ja oppimisen kautta, luo uuden tavan suhtautua tuotantoon. Työn jatkoa ajatellen, keskeisiä asioita ovat:

- Läpäisy aika on tärkein tuotannon toimivuuden mittareista. Läpäisy aika on läheisesti yhteydessä eräkokoan ja asetus aikaan, joista asetus aikojen pienentäminen on tärkein taloudellisten eräkokoan mahdollistaja. Joustavuuden kautta voidaan saavuttaa nämä tavoitteet.
- Lean-tuotannon mukaan, solu-layout on yksi toimivimmista ratkaisuista valmistusvirran ja kokoonpanon kannalta. Tiimitoiminta on yhteisten tavoitteiden saavuttamisessa elintärkeää.
- Ergonomian laajan käsitteen tuntemus on eduksi suunniteltaessa kokoonpanojärjestelmää, sen vaikuttaessa tuottavuuteen ja työntekijöiden työkyvyn ylläpitoon.
- Työn tutkiminen on arvokas ja tehokas tapa kehittää työn tekoa sekä tuoda lisäarvoa jalostavaan työhön.

### 3. LÄHTÖTILANNE

Tässä kappaleessa kuvataan Vaconin toimintaa sekä yhtiön Vaasan tehtaan toimintoja ja toimintatapoja. Lisäksi luodaan katsaus tehtaan kehityskohteisiin ja nykyisen A1-tuoteperheen kokoonpanolinjaan.

#### 3.1. Vacon Oyj

Vacon Oyj on taajuusmuuttajiin keskittynyt, Vaasasta lähtöisin oleva kansainvälinen vahva-kasvuinen yritys. Yrityksen perustivat vuonna 1993 13 ABB Industrien työntekijää, jotka päättivät jatkaa taajuusmuuttajatuotantoa ABB Industrien siirtäessä taajuusmuuttajatuotantonsa Vaasasta Helsinkiin. Yrityksellä on tuotekehitys- ja tuotantoyksiköitä viidessä maassa, Suomessa, Italiassa, Yhdysvalloissa, Kiinassa ja Intiassa. Lisäksi myyntitoimistoja on 27 maassa ja huoltoyhtiöitä 90 maassa. Henkilöstön määrä oli vuonna 2012 1 513 työntekijää, keski-ään ollessa 36 vuotta. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2012 n. 388 milj. euroa (Vacon Oyj kotisivu, Vacon maailmalla; Vacon Oyj kotisivu, Yhtiö).



*Kuva 23. Kartta Vaconin maakohtaisista toimipisteistä (www.vacon.fi).*

Taajuusmuuttaja on tehoelektroniikkalaite, jolla yleisesti ohjataan teollisuuden ja yhteiskunnan käytössä olevia sähkömoottoreita. Taajuusmuuttaja säättää moottorin pyörimisnopeutta portaattomasti ja säästää täten huomattavasti energiaa. Moottorin käynnistymistä sääten

voidaan myös vähentää sähköverkon kuormitusta ja moottorin mekaanista rasitusta. Taajuusmuuttajan yleisimmät käyttökohteet ovat pumput ja puhaltimet, muita kohteita ovat esim. nosturit, hissit, ilmastointilaitteet, ja kompressorit. Lisäksi taajuusmuuttajia käytetään uusiutuvan energian tuotannossa, kuten tuulivoimaloissa ja aurinkoinverttereissä. (Tervetuloa Vaconiin - esite).



*Kuva 24. Vacon 100-tuoteperhe ([www.vacon.fi](http://www.vacon.fi))*

### **3.2. Vaasan tehtaan tuotanto**

Vaconin Vaasan tehdas on jakautunut 7 tuotantohalliin, jotka on rakennettu peräkkäin jatkumona vuosien aikana, viimeisimmän hallin valmistuttua 2008. Tehtaan tuotanto on jakautunut useaan tuotelinjaan, joista jokaisella tuotetaan pääasiassa yhtä tuoteperhettä. Vaconilla tuotteet valmistetaan tilauskohtaisesti, jolloin valmistuotevarastoja ei käytännössä tarvita. Vaikka tuoteperheitä on rajallinen määrä, on niistä tehtävien variaatioiden määrä suuri, kymmeniä tuhansia. Yksi tapa hallita näin suurta variaatioiden määrää sujuvasti on tekemällä tuotteesta ensin moduli, joka vasta toimitusta edeltävässä vaiheessa räätälöidään asiakkaan toivomusten mukaiseksi.



*Kuva 25. Vaconin Vaasan tehdas Runsorissa ([www.vacon.fi](http://www.vacon.fi))*

Tehtaalla tehdään töitä pääsääntöisesti kahdessa vuorossa, suurten teholuokkien testaus tehdään kuitenkin kolmessa vuorossa. Valmistus on pääosin kokoonpanoa ja painottuu käsityöhön, mutta raskaampien tuotteiden ja materiaalien siirtäminen tapahtuu nostimien avulla. Materiaali saapuu kokoonpanopisteelle joko laatikossa tai kuormalavalla. Yhteen tuotteeseen kuuluu n. 100 nimikettä, poislukien kiinnitystarvikkeet. Kokoonpanopisteiden materiaalivarastona toimii kevyille kuormille, kuten pahvi- ja muovilaatikoille, tarkoitetut etuhyllyt. Lisäksi käytetään raskaille tavaraerille kuormalavahyllyjä vetotasoilla, joita kutsutaan lavahyllyiksi, soveltuen 1–2 kuormalavalle. Kuormalavahyllyjen materiaalipuskurina toimii raskaille kuormille tarkoitettu RIP-hylly, johon voidaan myös lisätä vetotasoja helpottamaan materiaalin ottoa ja hyllytasoja kevyemmän materiaalin säilytykselle. Kuormalavoina käytetään suurimmaksi osaksi EUR-kuormalavoja, joiden mitat ovat 800 x 1200 mm. Vähäisemmässä määrin käytetään FIN-kuormalavoja, joiden mitat ovat 1000 x 1200 mm.

Kokoonpanon ollessa käsityöpainotteista työkaluina käytetään yleisiä käsityökaluja, ruuvinvääntimiä, leikkureita, pihtejä, momenttikelloja, yleismittareita jne. Ruuvinvääntimet ovat joko sähköisiä tai paineilmalla toimivia. Käytössä on useita kymmeniä eri malleja, kiinnitystarpeesta riippuen.



*Kuva 26. Kokoonpanopiste Vaconilla ([www.tekniikkatalous.fi](http://www.tekniikkatalous.fi))*

Tehtaan tuotanto on suureksi osaksi tuotantolinja-layout-mallin mukaista, mutta joissakin kohdin käytetään solu-layout-mallia. (ks. Uusi-Rauva et al. 2004, s. 407–410). Tuotantolinjoilla on omat tiiminsä, jotka koostuvat tiiminvetäjästä sekä yhdestä tai useammasta perehdyttäjistä vuoroa kohden. Lisäksi tiimeillä on korjaushenkilöitä käytössään, jotka ovat vastuussa testauksessa vikailmoituksen aiheuttaneiden laitteiden korjaamisesta ja juurisyyyn löytämisessä. Korjaushenkilöt huoltavat ja korjaavat myös linjan tuotantokoneita ja työkaluja yms.

Tehtaan materiaaliohjauksen piirissä on useampi tuhat nimikettä, nimikkeiden kokonaismäärän ollessa noin kymmenkertainen. Tilauskantaan tulleet tilaukset puretaan komponenttitarpeiksi kerran vuorokaudessa tuotannonohjausjärjestelmään, josta saadaan tuotantolinjakohdattaiset nettotarvelistat. Käytännössä varastossa on nimikkeitä n. viikon tuotantoa varten vaikka materiaali ohjaus tapahtuu kulutuksen, ei ennusteiden, mukaan. Varaston kierto on tuotelinjasta ja ajankohdasta riippuen n. 40–100. (ks. Miettinen 1993, s. 76–77).

Materiaaliohjauksesta vastaavat materiaali ohjaajat, jonka tiimi koostuu kahdeksasta henkilöstä. Tiimi vastaa materiaalivirtauksen toiminnasta, mm. varmistavat varastosaldon paikkansapitävyyden, optimoivat laatikkokiertoa ja siten varmentavat materiaalin riittävyyden, huolehtivat tilausimpulssien menemistä toimittajille sekä reklamaatioista (vrt. Miettinen 1993, s.69; Uusi-Rauva et al. 2003, s. 381). Materiaali ohjaajien vastuulla on 1-3 linjan materiaalit, riippuen hieman nimikkeiden määrästä sekä muista työtehtävistä. Kanban-ohjaus, laatikkokiertojärjestelmä, on Vaconilla suositeltavin ohjaustapa, käsittäen 95 % nimikkeiden ohjauksesta. Materiaalivastaava optimoi fyysistä laatikkokiertoa virtuaalisen työkalun avulla,



joka määrittelee päivittäin erien määrän ja koon, ottaen huomioon toimitusajan ja kulutuksen. (ks. Uusi-Rauva et al. 2003, s. 351, 382).

Materiaaliohjaajat ohjaavat myös linjojen materiaalivastaavia, jotka vastaavat linjan sisäisestä materiaalitoiminnasta. Materiaalivastaavien toimenkuvaan kuuluu nimikkeiden täydentäminen kokoonpanopisteisiin sekä puutteiden lisääminen materiaalipuutelistalle.

Tehtaan sisäisen logistiikan hoitaa pääosin DHL, joka vie nk. vastaanottoon tuodun materiaalin omille varastopaikoille tuotantolinjalle tai tuotantolinjan ympäristöön sekä hoitaa pakattujen laitteiden logistiikan lähettämöstä edelleen tehtaan ulkopuolelle. Muutama toimittaja tuo tavaran suoraan hyllyyn, nk. ”hyllyynkantopalveluna”.

### **3.3. Vaasan tehtaan kehityskohteita**

Vaasan tehdas on laajentunut yhtiön perustamisesta lähtien vaiheittain, olemalla Vaconin toiminnan kannalta keskeisin toimipaikka. Yhtiö on ollut vahvassa kasvussa ja vuosien saatossa tuotantokapasiteettia on lisätty sekä uusia tuotteita tuotu markkinoille. Tuotekehityksen ollessa nopeaa on suunnittelu keskittynyt lähinnä tuotteen ominaisuuksiin. Kokoonpantavuuden kannalta tuotteet ovat hyvin erilaisia, mutta kehitystä on tapahtunut tällä osa-alueella tuotesukupolvien myötä (ks. Kauppinen 1997, s. 115–116).

Tehtaalla ei ole ollut yhtenäistä linjausta, miten kokoonpanolinjat tulisi asentaa, joka aiheuttaa toimivuuden, huollettavuuden ja tehtaan yleisilmeen kannalta ongelmia. Kokoonpanolinjojen rakentamista leimaa yleensä kiire sekä tarkan suunnittelun puute. Linjan rakennusvaiheessa päättäminen voi olla hädiköityä, joka voi johtaa kehnoon toteutukseen kokonaisuuden ja toimivuuden kannalta (ks. Liker 2009, s. 285). Lisäksi jokaisen tuotantolinjan erilaiset menetelmät tehdä asioita vaikeuttavat uusien työntekijöiden moniosaamista ja ongelmakoh-  
tien löytämistä sekä pidentävät koulutus- ja perehdytysjaksoa täysin uuden työtavan omaksumisen kestästä johtuen. (ks. Ahokas 2011, s. 15). Myös työntekijöiden motivaatio ja työterveys korreloi toimivuuden ja ergonomian huonontumisen kanssa (ks. Saari 1981, s.13).

Tuotantolinjojen erikoistuminen yhden tuoteperheen tekemiseen luo haastetta tuotannon kapasiteetin mitoittamiseen suhteessa kysyntään. Tuotteiden erilainen kysyntä luo epätasapainoa linjojen kesken, kun kuormitusta ei voi jakaa useammalle tuotantolinjalle (ks. Uusi-

Rauva et al. 2003, s. 344–345). Lisäksi tuotantolinjojen investoinniltaan arvokkaimman osan, testauksen, käyttöaste jää matalaksi, joka johtuu kuormituksen epätasapainosta.

Kombilinjain idea, nopeilla asetustenvaihdoilla tapahtuva tuotevaihto, toisi lisäarvoa tuotannon kapasiteetin määrittämiseen. Uuden konseptin helppo monistettavuus, modulaarisuuden ja yhtenäisyyden kautta, lyhentäisi osaltaan asetusaikaa sekä toisi joustavuutta sekä volyymin että tuotemixin vaihteluille. Näiden tavoitteiden saavuttamisen myötä myös läpäisy aika vähenisi. (ks. Lapinleimu et al. 1997, s. 84–84; Uusi-Rauva et al. 2003, s. 347–348).

Tuotantotilat tehtaalla ovat tällä hetkellä käytössä täysimääräisesti, käyttämätöntä tilaa ei tällä hetkellä juurikaan ole. Sen sijaan että kapasiteettia kasvatettaisiin pinta-alan lisäämisen kautta, on päädytty tehostamaan pinta-alan käyttöä. Tuotantolinjojen käytävien ja materiaallivarastojen tilankäyttöä on varaa tehostaa huomattavasti, esim. yhdenmukaistamalla materiaalin varastointipaikkoja ja luomalla yhtenäisen tuotantolinja-konseptin, joka mahdollistaa tuotevaihtojen tekemisen. Nämä toimenpiteet, kapasiteetin lisäyksen ja tuottavuuden parantamisen lisäksi, tukevat lopulta mm. henkilöstön osaamisen karttumista sekä työterveyden ylläpitoa, parantavat työilmapiiriä ja vähentävät tapaturmariskejä työsuojelun kannalta. (ks. Saari 1981, s. 9; Lapinleimu 1997, s. 86).

### **3.4. Nykyinen A1-tuotantolinja**

Kombilinjaa koskevan, nykyisen A1-tuotantolinjan, yhden vuoron tiimi koostuu n. 10 henkilöstä, joihin kuuluu tiiminvetäjä, perehdyttävä, korjaushenkilöt ja kokoonpanotyöntekijät. Tiimin esimiehenä toimii operation manager, jolla voi olla useampi tiimi vastuullaan. Tiimillä on vastuualueenaan myös tuoteperheiden A2- ja A3-kokoonpanolinjat, sekä kyseisten kolmen tuoteperheen loppuräätälöinti ja pakkaaminen. Kokoonpanolinjat ja loppuräätälöinti, korjaushenkilöstön työpisteet sekä tiiminvetäjien työpisteet ovat sijoitettuna eri puolille tehdasta, keskittyen kolmeen halliin. A1-kokoonpanolinja on ollut nykyisessä muodossaan muutaman vuoden.

Kokoonpanotyöntekijät vastaavat modulien valmistuksesta, loppuräätälöintiin siirtämisestä ja itse loppuräätälöinnistä, laitteen pakkaamisesta sekä sen siirtämisestä logistiikkahenkilöstölle. Lisäksi kokoonpanijat vaihtavat tyhjiä lavoja ja täydentävät materiaalityökaluja sekä

ruuvilaatikoita. Materiaalivastaavaa ei ole käytössä kyseisillä linjoilla. Perehdyttäjien vastuulla on mm. uusien kokoonpanotyöntekijöiden koulutus tehtävään sekä ohjata ja tukea kokoonpanotyöntekijää tehtävässään ja kokoonpanoon liittyvissä ongelmatilanteissa. Perehdyttäjä osallistuu myös kokoonpanotyöhön ja siihen kuuluviin tehtäviin mahdollisuuksien mukaan. Tiiminvetäjä rooli on hoitaa päivittäinen operatiivinen johtaminen, ts. olla linkkinä esimiehen ja tiimiläisten välillä, välittämällä informaatiota molempiin suuntiin, ohjata resursseja ja kapasiteettia sekä vastata työn sujuvuudesta.

#### 4. TOTEUTUS

Tässä kappaleessa käsitellään työn eri vaiheita ja mitä haasteita kohdattiin työn edetessä. Ensimmäiset luvut käsittelevät taustatietojen keräämistä ja kehityskohteiden valintaa. Seuraavissa luvuissa tarkastellaan työaikatutkimuksen ja ergonomiatutkimuksen tuloksia sekä kuvaillaan kombilinjän konkreettisia sovellutuksia ja haasteita. Viimeiset luvut käsittelevät asetusaikaa ja tuoteperheen vaihtoa kombilinjalle.

##### 4.1. Olemassaoleviin linjoihin tutustuminen

Käytännön työ alkoi perehtymisellä tehtaan eri materiaalinkäsittelytapoihin linjoilla. Materiaalinkäsittelyllä tulisi olemaan suuri rooli tämän työn edetessä, joten oli tärkeää saada tietoa miten tehtaan eri tuotantolinjat ovat löytäneet sopivat ratkaisut materiaalinkäsittelyyn. Lisäksi tämä vaihe toimi oivana tilaisuutena tutustua tehtaan toimintaan kokonaisuudessaan. Näistä eri materiaalinkäsittelytavoista, työpisteitten toteutuksista ja materiaalin sijoittelusta kirjattiin talteen valokuvien ja tekstein huomionarvoisia ja kombilinjaan sopivia kohteita. A1-tuotteen tuotantolinjaan tutustuttiin myös, lähinnä kyseisen laitteen kokoonpanoon sekä materiaalin käsittelyyn linjalla.

##### 4.2. Palautteen kerääminen linjoilta

Kombilinjän pilotointia koskevien linjojen tiiminvetäjiä pyydettiin keräämään työntekijöiden mielipiteitä linjan toimivuudesta, esille tulleita kehityskohteita ja parannusehdotuksia. Saatua palautteita käytiin läpi tiiminvetäjien kanssa ja kirjattiin ylös. Palautteesta poimittiin toteutetta-

vissa olevat asiat, jotka huomioitiin kombilinjän toteutuksen edetessä. Tämän lisäksi käytiin keskustelua suoraan työntekijöiden ja erityisesti perehdyttäjien kanssa huomionarvoisista kohteista.

#### 4.3. Kehityskohteita nykyisellä linjalla

Kehityskohteiksi pilotointiin tulevalla A1-linjalla otettiin erityisesti ergonomian parantaminen ottamalla käyttöön kokoonpanoon sopivat työkalut, asettamalla materiaali hyvälle otto- korkeudelle sekä nostamalla radan korkeutta (ks. Aulanko et al. 2010, s. 10). Lisäksi kiinnosti ajatus asentaa Tensor-ruuvinväännin kokoonpanolinjalle, tavoitteena tuoda tarkkuutta ja laadullista lisäarvoa kokoonpanoon. Ruuvinvääntimestä saataisiin myös lisää käytännön tietoa sen soveltuvuudesta yleisempään käyttöön tehtaalla.



*Kuva 27. Atlas Copcon suora Tensor-väännin.*

Kokoonpanotyö A1-linjalla on pääasiassa ylhäältäpäin tehtävää työtä, ruuvaamista ja asettelua yms. Työkaluina käytetään kuitenkin enimmäkseen pistoolimallista paineilmaväännintä, joka aiheuttaa ranteen vääntymistä ääriasentoon sekä kyynärpään nostamista olkapään korkeudelle ruuvattaessa alaspäin. Osalla muista tehtaan linjoista on käytössä sähköinen suorakone-malli, joka mahdollistaa ranteen neutraalin asennon. Suorakoneen yhdistäminen keven-timeen, joka pitää konetta ilmassa, ja momenttivarteen, joka poistaa ranteen kokeman reaktiovoiman, luovat kokonaisuuden, joka vähentää oleellisesti koko käden kuormitusta.



*Kuva 28a-b. Pistoolimallisen ja suoran työkalun käytön vaikutus ranteen asentoon.*



*Kuva 29. Atlas Copcon suora työkalu, kevennin ja momenttivarsi asennettuna.*

Materiaalihyllyjen asennuksessa ei ole huomioitu riittävästi hyvää ottokorkeutta, joidenkin nimikkeiden ottoon täytyy nostaa käsi jopa pään yläpuolelle useamman kerran työpäivän aikana. Lisäksi ruuvilaatikoiden sijoittelu aiheuttaa kurottelua, joka on toistuvaa. Radan korkeus on taasen hyvin matala, joka aiheuttaa työpöydän jatkuvaa säätöä, kun laite otetaan puskurista, nostetaan se sopivalle työskentelykorkeudelle ja lopulta lasketaan alas ja siirretään laite puskuriin. Työpöydän korkeussäätimet ovat myös hankalassa paikassa, joka aiheuttaa työpöydän säätämättä jättämistä.

#### **4.4. Nykyisen linjan työaikatutkimus**

Tehtaan oman työntutkijan tekemän työaikatutkimuksen mukaan linjan työvaiheet eivät olleet tasapainossa. Tutkimuksen pohjalta tehtiin työnkulkuun muutoksia vaihtamalla kokoonpanotehtävien järjestystä tavoitteena saada työvaiheet ajallisesti tasapainoon. Nämä muutokset tulisivat käyttöön vasta kombilinjalla, jolloin tehtäisiin uusi työaikatutkimus. Lisäksi Tensor-ruuvinvääntimen asentaminen kombilinjalle poisti muutaman työvaiheen sekä muutti

oleellisesti työmenetelmää, joka vaati työohjeitten muutosta sekä työntekijöiden perehdytystä työkalun käyttöön. Varsinkin työohjeen muutos vaati aikaa, joten myös uuden työohjeen käyttöönottoa lykättiin odottamaan tuotannon siirtymistä kombilinjalle.

#### **4.5. Nykyisen linjan ergonomiatutkimus**

A1-linja katsastettiin fysioterapeutin kanssa, huomioiden ergonomia ja erityisesti työasennot ja työliikkeet. Fysioterapeutilta saadun suullisen palautteen mukaan kehitettävää olisi erityisesti ranteiden ääriasennoissa työkaluja käytettäessä, käsien kuormituksen keventämisellä materiaalia otettaessa sekä yleisesti otekorkeuksissa ja työpisteiden ulottuvuustekijöissä (ks. Saari 1982, s. 87; Aulanko et al. 2010, s. 33–35). Havainnollistavia toimintatapoja näiden kohteiden parantamiseen saatiin myös edesauttamaan ergonomian huomiointia kombilinjalla. Fysioterapeutti tutustui myös kombilinjän konseptiin, jolloin saatiin palautetta jo toteutetuista, tai ideatasolla olevista, huomionarvoisista kohteista.

Lisäksi A1-linjasta tunnistettiin toistotyötä sisältävät työtehtävät ja vaarat työntekijän terveydelle käyttäen Työterveyslaitoksen toistotyön havainnointi- ja haastattelumenetelmää, nk. ”Toisto-Repeä”. Tutkimus tehtiin työsuojeluvaltuutetun läsnä ollessa, haastatteleamalla ja arvioimalla työntekijöitä työssään. Tulokset kirjattiin Toisto-Repe-menetelmän arviointikaa-  
vakkeeseen. Tutkimustuloksena todettiin työn kyseisellä linjalla sisältävän jonkin verran toistotyötä ja tuotantolinjan ergonomiassa kehitettävää. (ks. Työturvallisuuslaki 2002/738 8 § - 24 §).

#### **4.6. Kombilinjän toteutus**

Kombilinjän karkeasuunnittelu layoutin osalta oli tehty jo aiemmin tehtaan tuotantoinsinöörin toimesta. Layoutissa oli määritelty tuotantolinjan fyysinen sijoittelu ja materiaalihyllyjen paikat hallissa sekä tuotantolinjan kalusteet. Hienosuunnittelu tehtäisiin käytännön työn edetessä ja vapaamuotoisesti kokeillen uusia ratkaisuja ja niiden toimivuutta.

Käytännön työ alkoi etuhyllyjen (ts. läpivirtaushylly; FIFO, First In First Out) kokoamisella kombilinjän sijoituspaikalla sekä tuomalla tuotantokalusteet oikeille paikoilleen. Materiaalin mahtumista sellaisenaan kombilinjalle arvioitiin, huomioiden hyllykorkeudet ja niiden mää-

rät sekä työpisteiden ulottuvuustekijät (ks. Aulanko et al. 2010, s. 40–41). Huomattiin ettei etuhyllyn tila riittänyt, vaan materiaaleille tarvittiin lisätilaa. Tilanpuutteen ratkaisemiseksi työntekijöiden taakse rakennettiin pienempi ja kevyttekoinen ”keskihylly”, johon voitiin sijoittaa materiaali, jota ei saatu sopimaan etuhyllyyn. Työpöytään tehtiin myös prototyyppi aputasosta helpottamaan kokoonpanoa.

Jokaisen nimikkeen (poislukien kuormalavatavara) kuljetuslaatikko tuotiin kombilinjalle ja aseteltiin sille sopivaan paikkaan, jotta voitaisiin tutkia materiaalin mahtumista ergonomisesti hyvin ja edistämään työn sujuvuutta (ks. Saari 1982, s. 11–13). Kuormalavalla tuotavat nimikkeet käytiin läpi ja tutkittiin voisiko osat toimittaa muovilaatikossa kuormalavan sijaan, jolloin säästettäisiin arvokasta tilaa linjalla. Nimikkeet punnittiin ja kuvattiin laatikossa ja tiedot annettiin materiaaliyhäyksille jatkotoimenpiteitä varten. Kahden nimikkeen kohdalla eräkoko ei ollut mahdollista pienentää laatikkoperusteisen toimituksen vaatimalle tasolle. Näille kahdelle kuormalavanimikkeelle rakennettiin siirrettävä kuormalavahylly, joka voidaan kuljettaa linjalta kuormaamista varten ja tuoda takaisin linjalle kokoonpanopisteen läheisyyteen.

Sähkön, paineilman, ESD-maadoituksen ja datakaapelien viennit käytiin läpi ja pudotukset katosta suunniteltiin. Työpestekohtaiset pistokkeet ja liittimet valittiin sekä asennettiin modulaarisuus, ergonomia ja yleisilme huomioiden. Myös mahdollisten tulevien työkalujen käyttö otettiin huomioon, esim. paineilmaliihtäntöjä tehdessä. Kombilinnan toteutuksen perusteella koko tehdashalliin tehtiin suunnitelmat paineilman, IT:n ja sähkön jakeluverkoston päivittämisestä ja yhtenäistämisestä.

Työposteiden suunnittelussa huomioitiin erityisesti helppokäyttöisyys ja ulottuvuustekijät. Korkeussäädettävään työpöytään asennettiin kehikko, johon kaikki työssä tarvittavat välineet voitaisiin kiinnittää, esim. ruuvilaatikot, työkalupellit ja tietokoneen näyttö. Näin tärkeät työvälineet olisivat paremmin ulottuvilla sekä mukautuisivat käyttäjän työpöytään tekemien korkeussäätöjen mukaan (ks. Aulanko et al. 2010, s. 44–46). Työposteen korkeussäätimet asennettiin myös kehikkoon, jotta ne olisivat paremmin ulottuvilla ja edistäisivät työpöydän korkeuden säätämistä hyvälle työskentelykorkeudelle (ks. Aulanko 2010, s. 41–42). Helppokäyttöisyyttä kehitettiin myös suunnittelemalla korkeussäätimille havainnollistavat symbolit, jotka ohjaavat käyttäjää säätimien oikeaan käyttöön (ks. Aulanko 2010, s. 10). Säätimen muistipaikat asetettiin radan korkeudelle, jotta työpiste saataisiin niitä käyttämällä helposti radan korkeudelle, tuotteen työpisteestä puskuriin siirtämisen yhteydessä. Näin työntekijän



ei tarvitsisi tuhata aikaa työpöydän säätämiseen oikealle korkeudelle, vaan oikea korkeus löytyisi automaattisesti nappia pohjassa pitämällä.



*Kuva 30. Työpisteen korkeussäätimen käyttöä selventävät symbolit.*

Etuhyllyjen tasopeltien korkeutta harmonisoitiin tuotevaihtojen vuoksi. Tavoitteena oli, ettei tuotevaihdon tapahtuessa ole tarvetta tehdä suuria, aikaavieviä muutoksia etuhyllyjen rakenteeseen. Tasopellit voisivat olla samalla korkeudella kyseessä olevan kokoluokan laitteille, säädettävyyttä saataisiin teräspeltien syvyyttä ja kaltevuutta muuttamalla. Korkeuden määrittely ja yhtenäistäminen lyhentäisi myös asetusaikaa, kun tiedossa olisi kuinka korkealle etuhyllyn taso- ja teräspellit tulisi asentaa.

Jokaisen linjalla käytettävän materiaalinimikkeen fyysisen paikan kohdalla on oltava nk. hyllylappu, josta ilmenee nimikkeen nimi, osanumero, toimittaja sekä kyseisen hyllypaikan koodi hallin koordinaattijärjestelmässä. Hyllylappuja on oltava FIFO-periaatteen mukaan toimivan materiaalipaikan molemmissa päissä, ts. sekä materiaalinottajan että materiaalitäydentäjän nähtävillä. Kokoonpanon työohjeessa esitetään nimikkeiden koodit ja nimitykset,

joita kokoonpanija seuraa työssään. Nimikkeen toimittaja tuo yleisluontoista informaatiota nimikkeestä ja DHL tuo nimikkeitä materiaalipaikoille hyllypaikan koodin mukaan. Tehtaan käytäntönä on tulostaa hyllylaput paperille, laminoida ja leikata ne sekä tämän jälkeen liimata ne teräspeltien etureunaan sekä etuhyllyjen takaosaan, nk. ”törmäyslistaan”, tai kuormalavahyllyjen palkkeihin, kun kyseessä on kuormalavahylly. Tuotevaihtoja tehtäessä materiaalinimikkeiden hyllypaikat muuttuvat hallin koordinaattijärjestelmässä, joka vaatii hyllylappujen päivittämistä tuotevaihtojen mukaan. Tuotevaihtojen lukumäärän ollessa tässä vaiheessa tuntematon, todettiin hyllylappujen asentamishelpouden olevan tärkeä osa asetusajan pienentämistä. Tämän prosessin nopeuttamiseksi materiaalinimikkeiden hyllypaikoille asennettiin muoviset listat, joihin hyllylaput voitiin tulostamisen ja leikkaamisen jälkeen sijoittaa. Näin päästiin eroon aikaa vievästä hyllylappujen laminoinnista sekä niiden liimaamisesta paikoilleen.

Materiaalin sarjanumero	Hyllypaikan koordinaatti
Sarjanumeron viivakoodi	
Materiaalinimikkeen nimi	
Materiaalin toimittaja	Koordinaatin viivakoodi

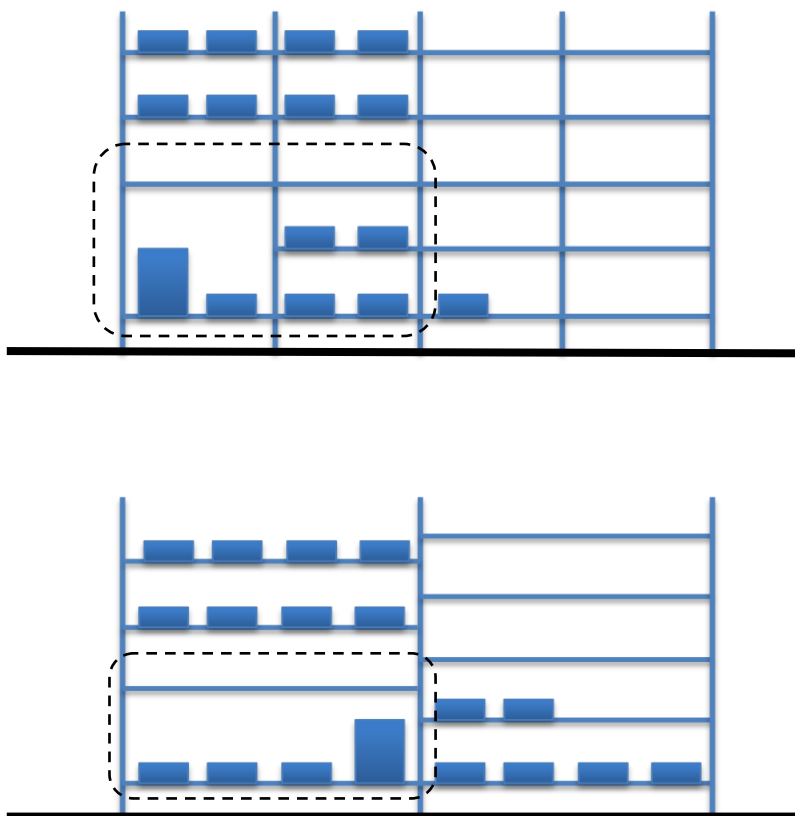
*Kuva 31. Havainnekuva Vaconin hyllylappupohjasta.*

Tilan säästämiseksi jäteastiat tulisi sijoitella kombilinjalla työpisteiden alle. Jotta lattian siivoaminen ja jätteiden laittaminen astiaan olisi vaivatonta, kehiteltiin astioille kannattimet, jotka nostaisivat ne lattian tasolta. Näistä kannattimista lähetettiin tuotantokalusteiden valmistajalle prototyyppi, jotta kannattimet voitaisiin lisätä tuotevalikoimaan ja tilata suoraan valmistajalta. Valmistajalta lähetettiin kolme kappaletta kannatinta koekäyttöön kombilinjalle.



*Kuva 32. Jäteastian kannattimen prototyyppi.*

Kombilinjalla olisi käytettävissä rajoitettu määrä kuormalavapaikkoja. Kuormalavalla toimitetun materiaalin määrä ja lavan korkeus otettiin huomioon kombilinjän RIP-hyllyä suunniteltaessa. Alkuun layoutissa oli suunniteltu käytettäväksi pitkiä neljän lavapaikan palkkeja. Tarkemman tarkastelun jälkeen huomattiin korkeaa materiaalia sisältävän lavan määrittelyvän seuraavan palkin sijainnin korkeussuunnassa. Tämä poistaisi mahdollisuuden käyttää kahta kuormalavatasoa, ylemmän tason ollessa liian korkealla hyvää ottokorkeutta varten. Lisäksi lavapaikkojen määrä olisi puolet käytettävissä olevasta, hukkatilaa olisi paljon. Ratkaisuna päädyttiin käyttämään lyhyempiä, kahden lavapaikan palkkeja, jotka antaisivat enemmän joustavuutta kuormalavapaikkojen suunnittelua varten. Layoutia muutettiin, kustannuslisan ollessa häviävän pieni ja tilaa hyllyn kokonaispituuden kasvamisesta huolimatta, oli tarpeeksi. Näin korkea lava ei söisi koko kuormalavahyllyn tilaa, vaan mahdollistaisi myös kuormalavojen asentamisen kahteen tasoon hyvälle ottokorkeudelle ja toisi lisäksi materiaali paikoille joustavuutta, huomioimalla myös työergonomia.



*Kuva 33. Kuormalavahylly pitkillä ja lyhyillä palkeilla. Korkea kuormalava syö tilaa hyllyssä pitkillä palkeilla.*

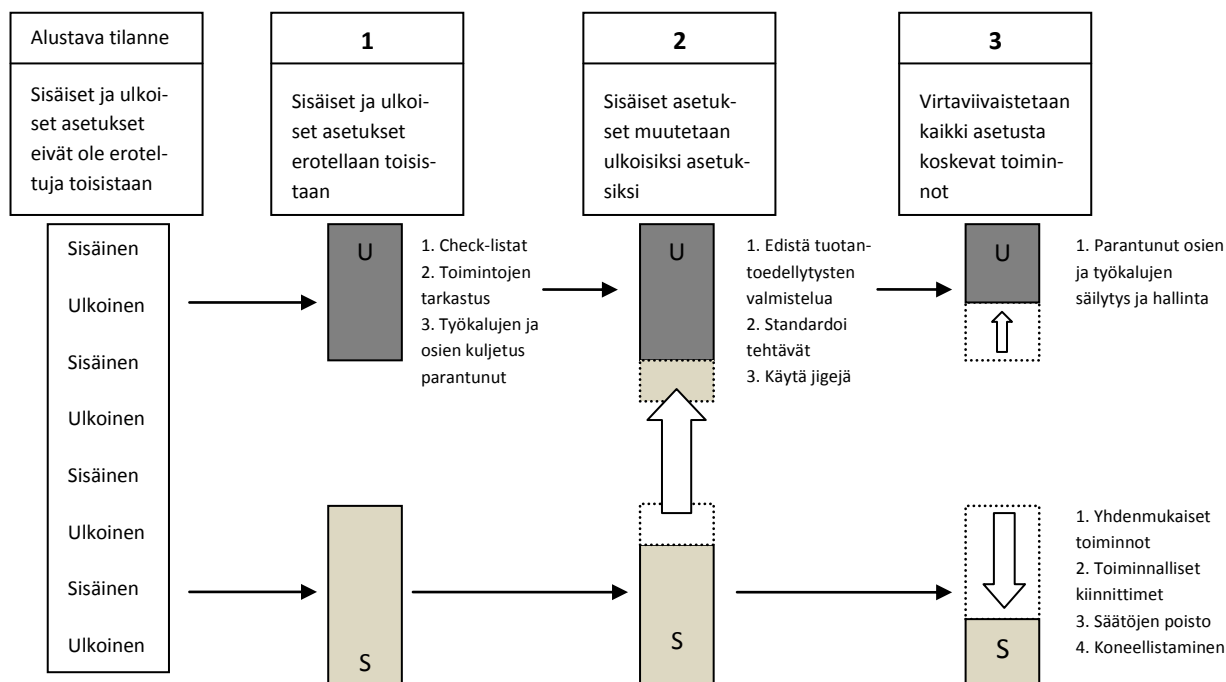
RIP-hyllyyn asennettiin tasopellit vetotasojen yläpuolelle, esim. laatikoita varten. Laatikko-paikka toisi ratkaisun A1-linjan piirikorttien käsittelylle. Piirikorttien sijoituspaikka on ns. ”umpikuja”, eli kortit eivät vaihdu FIFO-perusteisesti. Tämä aiheuttaa ongelmia esim. laatu-puutteiden ilmaantuessa ja jouduttaessa poistamaan kortteja linjalta – joitakin eriä jää usein huomaamatta. Kun piirikortit tuotaisiin DHL:n toimesta FIFO-perusteiseen hyllyyn, voisivat työntekijät jakaa ne käyttöpaikoilleen (etuhyllyyn tai keskihyllyyn) kätevästi, jolloin materiaali vaihtuisi hyvin ja olisi johdonmukaisessa järjestyksessä laatuongelmia ratkottaessa.

#### **4.7. Asetusajan määrittely**

Tämän opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli määritellä ja optimoida kombilinjän tuotevaihdon asetus aika. Kombilinjän tavoite on tuottaa samalla kokoonpanolinjakonseptilla useita eri tuotteita, tekemällä minimimäärä muutoksia linjan rakenteeseen. Kyseinen kombilinjakonsepti optimoitiin kahden, saman kokoluokan tuoteperheen; A1, B1 ja B2, kokoonpanoa varten. Linjan ennakkoon määritellystä rakenteesta ja siitä juontuvasta materiaalipaikkojen vähydestä johtuen, kaikkien kolmen tuoteperheiden materiaaleja ei voida varastoida käyttö-

paikoillaan. Tämän vuoksi jokaiselle tuoteperheelle on oltava oma tuotantolinjansa, mutta jonka tuoteperhettä voidaan vaihtaa vaivattomasti ja nopeasti, kun tuoteperhevaihdosta päätetään. Syy tuoteperheenvaihtoon voi olla esim. kapasiteetin lisäys, jolloin tuoteperheen tuotantokapasiteettia voidaan laajentaa, ottamalla käyttöön toinen tuotantolinja, tai kahden tuoteperheen menekin epätasapaino, jolloin tuoteperhe X:n tuotantolinja voidaan muuntaa tuotamaan tuoteperhettä Y.

Tuotevaihtoa suunnitellessa mukailtiin SMED-menetelmää ja sen vaiheita. Shigeo Shingon kehittämässä asetusajan vähentämismenetelmässä (Single-Minute Exchange of Die, SMED; ks. Shingo 1985, s. 29–31) määritellään ensin, mitkä asetukset ovat ulkoisia ja sisäisiä asetuksia, ts. mitä asetuksia voidaan tehdä ennen tuotannon keskeytymistä ja mitä vasta tuotannon keskeydyttyä. Seuraavassa vaiheessa tulisi muuttaa sisäisiä asetuksia ulkoisiksi tarkastelemalla toimintoja uudelleen, jolloin varmistetaan sisäisten asetusten paikkansapitävyys sekä etsitään tapoja muuttaa näitä toimintoja sisäisistä asetuksista ulkoisiksi. Viimeisessä vaiheessa tulisi virtaviivaistaa kaikki asetusta koskevat näkökohdat, jotta saavutettaisiin yksinumeroinen minuuttimäärä asetusajassa. Tärkeää on huomata toisen ja kolmannen vaiheen toteuttamisen mahdollinen yhtäaikaisuus, vaiheet on eritelty niiden sisältämän kahden käsitteen havainnollistamiseksi: analysointi, jota seuraa toteutus.



Kuva 34. Havainnekuva SMED:n menetelmästä ja käytännön tekniikoista (Productivity Press 1996, s. xii).

Tutkimuksessa määriteltiin, mitkä kohteet ovat valmiiksi paikoillaan tai tehtyjä ja mitkä kohteet pitää vaihtaa tuotevaihdon tapahtuessa (vrt. ulkoinen ja sisäinen asetus): esim. materiaali, ruuvit ja työkalut ovat muutettavia kohteita tuotevaihdon tapahtuessa. Nämä kohteet ovat tuotekohtaisia ja ovat edellytys kokoonpanolle. Etuhylly ja työpöydät puskureineen sekä RIP-hylly vetotasoineen ovat vastaavasti esimerkkejä kohteista, jotka jäävät paikoilleen tuotevaihdesta riippumatta.

Tuotevaihdon tapahtuessa tulisi testauksen seisokit minimoida, eli tuotteiden virta testaukseen tulisi jatkua keskeytyksettä. Jakamalla kohteet vaihdettaviin ja paikoilleen jääviin testausta silmällä pitäen sekä valmistelemalla tuotevaihto mahdollisimman valmiiksi, voidaan tuotevaihdon vaikutuksia testauksen käyttöasteeseen pienentää. Huomionarvoista on todeta, että kyseinen tuotevaihdon optimointi on vasta teoreettinen tutkimus, jossa kartoitetaan tuotevaihdon suuntaa-antavaa kestoa. Jos tuotevaihtoja on tulevaisuudessa aikomus tehdä tiukalla aikataululla, voidaan tätä työkalua käyttää avuksi asetusaikojen arvioinnissa ja kehittämisessä. Tällöin tulee myös kehittää muita työkaluja työn edistämiseksi (esim. tarkistuslistoja) ja tehdä lisätutkimuksia sisäisten asetusten saattamiseksi ulkoisiksi.

#### **4.8. Tutkimuksen rajaus ja ajatusmalli**

Tämän tutkimuksen puitteissa rajattiin käytännöllisistä ja mittausteknisistä syistä valmiiksi tehdyiksi mm. tuotantokalusteiden kasaaminen ja muuttaminen, sähkö-, paineilma- ja IT-asennusten muuttaminen, materiaalien hyllylappujen valmistus ja vaihto sekä linjan yleisten rakenteiden viimeistely. Lisäksi näiden katsottiin olevan helposti ennakoitavissa olevia asetuksia, joiden valmistelu ennen tuotevaihdon tekoa, lyhentävät testauksen seisokki-aikaa.

Tulevaisuuden tarpeita tuotevaihdon suorittamisen suhteen voi tässä vaiheessa tutkimusta vain arvailla. Suurin muuttuja tulee olemaan tuotteiden menekki, joka luo painetta tuotevaihdolle. Tuotevaihtoja tuskin tullaan kuitenkaan tekemään päivittäin, ainakaan lähitulevaisuudessa, joten voidaan olettaa tuotevaihtoon valmistautumisen olevan perusteellista.

Ajatusmalli tuotevaihdon toteuttamisesta perustuu ideaalitalanteeseen, jossa tuotevaihto tehdään ns. ”lennosta”, jolloin testauksen seisokkiaika on lyhyin mahdollinen. Tällöin tuotantossa olevaan kokoonpanolinjaan (tuote X) tehdään tuotevaihtoon kuuluvat asetukset tuotteelle Y, aloittamalla ensimmäisestä työpisteestä ja jatkamalla kohti viimeistä työpistettä,


seuraamalla viimeistä X-tuotetta kokoonpanolinjan vaiheajojen mukaan. Yhden työpisteen tuotevaihdon toteuttamiseen käytettävissä oleva aika olisi tällöin riippuvainen seuraavan työpisteen vaiheajan kestosta.

Tuotevaihdon aikana tehtäviksi asetuksiksi valittiin materiaalinvaihto sekä työkalujen ja ruuvilaatikoiden vaihto. Asetusajan arvioitiin koostuvan tuote X:n liittyvien materiaalien ja työkalujen poistamisesta ja niiden korvaaminen tuote Y:n liittyvillä osilla. Tässä tutkimuksessa mitattiin yhden henkilön suorituksia. Oletuksena on että suoritus aika on jaettavissa tuotevaihtoa suorittavien henkilöiden määrällä.

#### **4.9. Tuotevaihdon tutkiminen**

Tuotevaihdon eri asetusten tekemiseen kuluva aika on tuotevaihdon keston määrittämisen kulmakivi. Tehtaan työntutkijalta saatiin valmiita mitta-arvoja, joita voitiin käyttää osaan asetuksista, esim. laatikkomateriaalin ja kuormalavamateriaalin käsittelyyn kuluvat ajat. Puuttumaan jäi työkalujen ja ruuvilaatikoiden asetusajaan liittyvät ajat, jotka selvitettiin tämän tutkimuksen puitteissa. Työkalujen ja ruuvilaatikoiden asetusajan mittaaminen, jossa henkilö suorittaa kyseiset asetukset, päädyttiin käytännöllisistä syistä kuvaamaan videokameralla. Tämän jälkeen kuvamateriaali purettiin työntutkijan toimesta työvaiheen kestoksi, joiden arvoja käytettiin tuotevaihdon laskennassa.

*Taulukko 3. Mitta-arvot asetusajalle. Vääntimien ja työpisteiden työkalujen siirtoaika koostuu pienemmistä vaiheista.*

<b>Mitta-arvot</b>				
Materiaalin käsittely	15,8	cmin	9,5	[s]
Trukin nostonopeus	37,7	cmin/m	0,04	[m/s]
Kuormalavan käsittely	135,3	cmin/kpl	81,2	[s]
Vääntimet ja työpisteen työkalut			69	[s]
				
Suoran koneen irrotus	0,64	min/kpl	38,4	[s]
Ruuvivääntim(i)en käsittely	0,1	min/1-2kpl	6	[s]
Ruuvikiskot irroitus ja siirtolavalle	0,14	min/1kpl	8,4	[s]
Työkalulevy irroitus ja siirtolavalle	0,27	min/kpl	16,2	[s]

Neljän mitta-arvon perusteella laskettiin koko tuoteperheen vaihdon kesto, simuloimalla kahden kokoonpanolinjan materiaalia, työkaluja ja ruuvilaatikkokiskoja. Siirrettävistä työkaluista ei huomioitu Tensor-väännintä, sen tuotantokäytön harvinaisuudesta ja poikkeavasta asennuksesta johtuen. Täydessä tuotantovalmiudessa olevassa kokoonpanolinjassa olisi myös materiaalia puskurissa etuhyllyissä, jonka siirtämiseen kuluva aika huomioidaan puskurikertoimella.

Työntutkijalta saadut asetuksiin liittyvien työvaiheiden (ks. Lapinleimu 1997, s. 47–48) kestot yhdistettiin Microsoft Excel -ohjelmassa ja tuloksena saatiin tuoteperheen vaihdon kesto yhden henkilön tekemänä. Tulokset voitiin jakaa joko koko linjan (karkea) tai työpisteittäin (tarkempi) tapahtuvaan tuotevaihtoon. Tehtaan työntutkija on arvioinut apuajan olevan 22 %. Tätä arvoa käytetään kaikissa tehtaan työtutkimuksissa. Huomioitavaa on, että lasketut ajat eivät ole normiaikoja, koska tuotevaihdon menetelmä ei ole tiedossa vielä tässä vaiheessa (ks. Ahokas 2011, s. 18).

Työpisteittäin täytyy myös tarkastella vaiheaikaa, jotta voidaan arvioida tarvittava määrä tuotevaihdon suorittajia. Kokoonpanolinjan ollessa epätahtilinja (ks. Lapinleimu 1997, s. 83) tulee asetusajan arvioinnissa huomioida linjan erityispiirteet. Työpisteittäin tapahtuva tuotevaihto aloitetaan, kun ensimmäinen työpiste on saanut tuotteen tehtyä ja siirtänyt sen pusku-

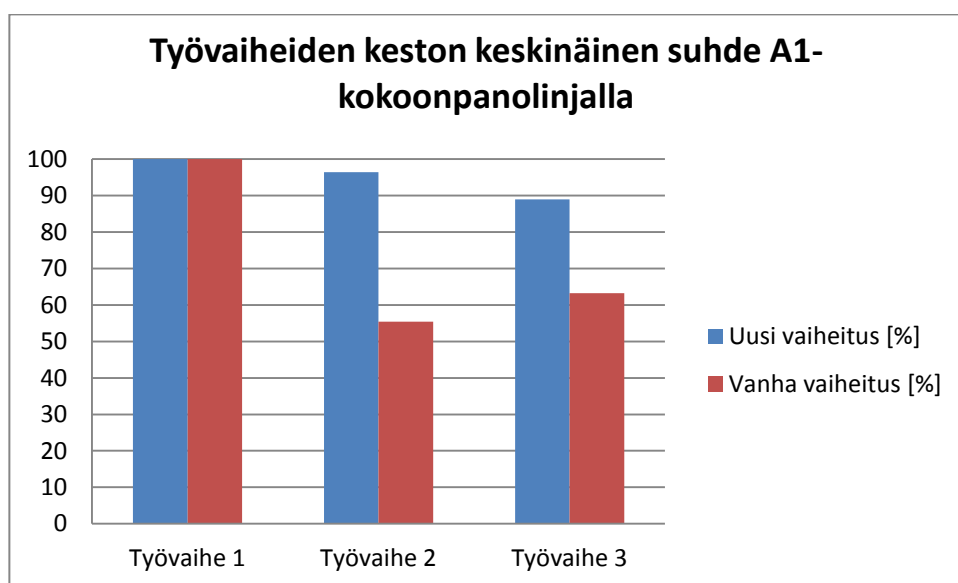


riin. Epätahtilinjassa ensimmäisen työpisteen tuotevaihdolle on aikaa minimissään seuraavassa työpisteessä valmistettavan vanhan tuotteen vaiheajan sekä ensimmäisessä työpisteessä valmistettavan uuden tuotteen vaiheajan verran. Toisin sanoen seuraavan työpisteen vaiheajassa on tehtävä tuotevaihto edelliselle työpisteelle sekä saada tehtyä uusi tuote puskuriin, jotta tuotteiden virtaus testaukseen ei katkea. Epätahtidista johtuen tuotevaihdolle laskettu aika on minimiaika, maksimissaan se voisi olla kaksi kertaa seuraavan työpisteen vaiheaika. Maksimiaika saavutetaan tuotevaihdon alkaessa työpisteestä 1 samaan aikaan, kun viimeinen tuote X siirretään puskuriin ja työpisteessä 2 ollaan työvaiheen alussa.

## 5. TYÖN TULOKSET

### 5.1. Työaikatutkimuksen tulokset

Ennen tämän opinnäytetyön aloittamista A1-linjalle oli tehty työaikatutkimus, jossa saatiin todennettua kokoonpanoaikojen epätasapaino työpisteiden välillä. Kombilinjassa otettiin uusi vaiheitus huomioon, jossa päädyttiin siirtämään työvaiheita työpisteiden välillä. Uuden vaiheituksen tuoma tasapaino kokoonpanolinjalla näkyy kuvassa 35.



*Kuva 35. Indeksoidut työvaiheiden kestot. A1-kokoonpanolinjan työvaiheiden keskinäinen suhde toisiinsa, ennen ja jälkeen vaiheitusmuutoksen.*

Työvaiheiden muutos, pistoolityökalujen vaihtaminen suoriksi koneiksi, Tensorin käyttöönotto linjalla sekä tuotteen mekaniikkamuutosten takia jouduttiin odottamaan työohjeen muutosta, jossa kaikki nämä muutokset ovat kirjattuina, ennen tuotannon siirtämistä kombilinjalle. Työntekijä seuraa työohjetta työssään, joten työohjeen tulee olla päivitetty vastaamaan kokoonpanolinjan tilannetta.

Työohjeen muuttaminen oli yllättäen suhteellisen pitkä prosessi, pienten lisäysten ilmaantuessa työn edetessä ja muiden osastojen lisäyksien odottelusta johtuen. Ilman työohjetta ei tuotantoa voitu siirtää kombilinjalle, joten myöskään työaikatutkimusta ei voitu suorittaa

uudella linjalla. Työaikatutkimus voidaan tehdä vasta myöhemmin keväällä, kun linja on otettu tuotantokäyttöön ja työntekijät ovat harjaantuneet työhönsä (ks. Ahokas 2011, s. 15).

Tästä huolimatta voisi olettaa tasapainon olevan linjalla parempi kyseisten muutosten jälkeen. Työntutkimuksen työaikaajattelussa voi tapahtua muutoksia, varsinkin materiaalinkäsittely- ja materiaalinpoiminta-ajoissa voi tapahtua muutosta, kuten myös kokoonpanoajassa. Tämä voi johtua Tensorin käytöstä, joka voi tuoda sujuvuutta työskentelyyn, poistamalla mm. työkaluja ja työvaiheita ja täten pienentää kokoonpanoaikaa. Lisäksi kombilinjan layoutin voisi olettaa parantavan tehokkuutta työssä, materiaalin sijoittelun ja työpisteiden selkeyden kautta, vaikuttamalla materiaalinkäsittely- ja materiaalinpoiminta-aikoihin. Toisaalta juuri kombilinjan layoutista takia, materiaalinkäsittelyaika voi kasvaa, joka voisi johtua esim. piirikorttilaatikoiden täydentämisestä RIP-hyllyyn ja etuhyllyyn. Kehno perehdytys Tensorin käyttöön voi myös hidastaa kokoonpanoa ja nostaa kokoonpanoaikaa.

## **5.2.Ergonomiatutkimuksen tulokset**

Tutustuttaessa A1-linjaan tämän opinnäytetyön alkuvaiheilla, saatiin fysioterapeutilta lausunto linjan ergonomisista kehityskohteista. Lisäksi linja käytiin läpi käyttämällä Työterveyslaitoksen kehittämää toistotyön arviointimenetelmää ”Toisto-Repeä”. Näistä tutkimuksista saadun palautteen ja tiedon perusteella, kombilinjalla painotettiin ergonomiaa erityisesti työpisteiden suunnittelussa ja materiaalin sijoittelussa. Kuitenkin tulokset tehdystä työstä jäivät saamatta, kombilinjan myöhäisestä tuotantoon otosta johtuen. Uuden ergonomiatutkimuksen teko siirtyy luultavasti myöhemmin keväälle, jolloin tuotanto on ollut käynnissä jonkin aikaa ja työntekijöiltä voidaan saada palautetta ergonomiaan liittyen ja fysioterapeutti voi käydä läpi kokoonpanolinjan.

Linjan työntekijöiden (kokoonpanijat, perehdyttäjät ja tiimin vetäjät) antama palaute viittaa kuitenkin ergonomian parantumiseen, verrattaessa vanhaan linjaan. Erityisesti materiaali-paikkojen ulottuvuustekijät ja ottokorkeudet ovat saaneet positiivista palautetta. Kuitenkin suorien koneiden asentaminen kombilinjalle on aiheuttanut vastarintaa ja keskustelua työkalujen kokonaisvaltaisesta toimivuudesta, antaen aihetta syvempään analyysiin.

Fysioterapeutin lausunnon mukaan suorat koneet ovat parempi vaihtoehto työkaluksi verrattuna pistoolimalliseen työkaluun ruuvattaessa pystysuoraan. Suurin osa tuotteiden ruuveista kiinnitetään pystysuoraan. Suoria koneita on tästä huolimatta vierastettu kokoonpanijoiden keskuudessa, niistä oletetusti johtuvien ylävartalon ja käsien kiputilojen ja rasitusvammojen takia. Suorille koneille on kuitenkin saatavilla momenttivarsi ja kevennin, jotka poistavat käteen kohdistuvat työkalusta johtuvat voimat periaatteessa täysin ja estävät täten rasitusperäisten vammojen kehittymisen. Näitä apuvälineitä on myös käytössä tehtaalla ja helposti saatavilla tehtaan työkaluvastaavan kautta.

Toimintatapa linjojen rakennuksessa on kuitenkin johtanut työpisteiden toimivuuden laiminlyöntiin ja täten momenttivarsi on kokoonpanijoiden mielestä ollut työpisteessä enimmäkseen työn haittana, johtaen vastaavasti usein niiden omatoimiseen irrotukseen työkalusta. Toisin sanoen koneita on yleisesti käytetty ilman momenttivartta, koska varsi on todettu olevan edessä. Momenttivarren poistaminen työkalusta asettaa käden alttiiksi reaktivoimalle, jonka työntekijä joutuu kompensoimaan sekä puristamalla työkalua kädessään että jännittämällä käden ranteesta olkapäähän. Momenttivarren sijaan kädestä tulee vipuvarsi, joka estää työkalua pyörittämästä akselinsa ympäri, ruuvia kiinnitettäessä. Käteen kohdistuu vääntöä ja kättä joudutaan jännittämään työpäivän aikana satoja kertoja, joka jatkuessaan voi oletettavasti johtaa rasitusperäisiin vammoihin ranteesta niskaan saakka.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että momenttivarren asennuksen suunnittelun laiminlyönti ja toteutuksen parantamatta jättäminen saadun palautteen mukaan ovat osaltaan johtaneet suoran koneen vieroksuntaan työkaluna kokoonpanolinjoilla. Ratkaisuna työkalun käyttökokemuksen parantamiseksi on sen toimivaan, ergonomiseen asennukseen kiinnitetty erityistä huomiota työpisteen suunnittelussa kombilinjalla. Täysipainoinen tuotanto tuo piilevät ongelmakohdat esille ja silloin työntekijöiltä saatuun palautteeseen työkalun toimivuuteen liittyen on myös reagoitava tekemällä tarkempi analyysi ongelmakohdista ja toimimalla saatujen tulosten perusteella.

Myös Tensorin asentaminen kombilinjalle on aiheuttanut kritiikkiä, antaen tässäkin tapauksessa aihetta syvempään analyysiin. Tensor on huipputeknologinen työkalu, jota käytetään ympäri maailman vaativissa kiinnityskohteissa, mm. auto- ja lentokonevalmistajat vannovat työkalun nimeen. Kuitenkin Tensor koetaan Vaconin Vaasan tehtaan työntekijöiden keskuudessa työn hidasteena. Yleisesti ottaen työntekijät eivät tunne työkalua tai sen toimintaperiaatetta, sen käyttöä ei hallita eikä sen antamaan informaatioon virheellisen kiinnityksen ta-

pahtuessa osata reagoida oikealla tavalla. Tensorin nihkeä vastaanotto tehtaan työntekijöiden keskuudessa johtuu oletettavasti työkalun perehdytyksen vajavuudesta sekä itse työkalun asentamisen laiminlyönnistä toimivuuden kannalta. Osaltaan momenttivarsiongelma heijastuu luultavasti myös Tensorin käytön vastustukseen, työkalun suuremmasta momenttialueesta ja siten suuremmasta reaktiovoimasta johtuen.

Tensorille on osana sen käyttökokemuksen parantamista saatu oma työohjeensa, joka esittelee työkalun osat, oikean käytön ja toimintatavan virheellisen kiinnityksen tapahtuessa. Tämä työohje voidaan avata niiden tuotteiden työohjeista, joissa käytetään Tensoria ja tuoda informaation suoraan työkalun käyttäjälle kokoonpanotilanteessa. Täten työntekijän ei tarvitse jäädä odottamaan apua perehdyttäjältä tai työkaluvastaavalta, joka hoitaa ongelmatilanteen, unohtamalla mahdollisesti kertoa kuinka kyseinen tilanne olisi ollut vältettävissä. Työkalun käyttäjällä on mahdollisuus tukeutua selkeään ohjeeseen virhetilanteen tapahtuessa ja ratkomaan ongelmat itsenäisesti ja oppimaan samalla oikean toimintatavan (ks. Liker 2009, s. 354). Jatkotoimenpiteenä voidaan suositella perusteellista perehtymistä Tensoriin sekä tämän tiedon jakamista perehdyttäjille ja edelleen työntekijöille, jotta tietotaito työkalun käytöstä olisi kaikkien osallisten hallinnassa.

### **5.3.Pinta-alan muutos**

Kombilinjain layout oli valmiiksi suunniteltu ennen tämän opinnäytetyön aloittamista, jolloin tarkasteltiin myös pinta-alan muutoksen toteutumaa karkealla tasolla. Analyysin pohjalta asetettiin tavoitteeksi tehostaa pinta-alan käyttöä 30 %. Tämä perustui olettamukseen kombilinjain monikäyttöisyydestä, jolloin usean kokoonpanolinjain tuotteet voitaisiin periaatteessa toteuttaa yhdellä kombilinjalla. Pinta-alan käytön tehostuminen tulisi erityisesti käytävien ja materiaalihyllyjen pinta-alan vähentymisestä, linjojen pinta-alojen pysyessä suurimmalta osin samalla tasolla.

Kokoonpanolinjoille suoritettiin pinta-alan mittaus AutoCAD-ohjelman avulla, vertaamalla kombilinjain ja alkuperäisten kokoonpanolinjojen layoutin pinta-alaa. Tarkastelukohteiksi otettiin linjain käyttämä pinta-ala kokonaisuudessaan, johon kuuluvat käytävät ja materiaali-paikat, sekä käytävien pinta-ala ja linjain sisäinen pinta-ala. A1-kokoonpanolinjalle saatiin tulokseksi n. 25 % pinta-alan vähennys koko linjain pinta-alaa tarkasteltaessa. Käytävien pinta-ala on pienentynyt n. 50 % ja linjain sisäinen pinta-ala pienentynyt n. 5 %. B1- ja B2-

kokoonpanolinjojen pinta-alamuutokset olivat suuremmat. Tarkasteltaessa koko linjan pinta-alaa, on pinta-alan pienentyminen n. 40 % ja käytävien ja linjojen vastaavasti n. 60 % ja n. 20 %.

Kombilinjan käyttämä pinta-ala on pienempi käytävien ja materiaali paikkojen vähentämisen sekä optimoinnin ansiosta, vertailtaessa yksittäisiin tuotantolinjoihin. Linjan sisäinen pinta-ala ei ole merkittävästi vähentynyt, joten kokoonpanijalla on tarpeeksi tilaa työntekoon. Tehtaan nykyisiin tuotantolinjoihin verrattuna kombilinja on tiiviimpi ja selkeämpi tehostamalla pinta-alan käyttöä merkittävästi ja ottamalla myös huomioon kokoonpanotyöntekijän työskentelyolosuhteet.

#### **5.4.Tuotevaihdon tulokset**

Tuotevaihdon ideaalitalanteessa, tulisi testauksen seisokit minimoida tuotevaihdon tapahtuessa, jotta niiden käyttöaste olisi mahdollisimman korkea. Tuotteiden virta testaukseen tulisi jatkua keskeytyksettä, tuotevaihdosta riippumatta. Tuotevaihto suoritettaisiin ns. aaltona: työpiste kerrallaan, muuttamalla työpisteet uuden tuotteen mukaisiksi, etenemällä työn vaiheikojen mukaan.

Tätä ideaalitalannetta kuvattiin Microsoft Excel -pohjaisen laskentatyökalun avulla, johon syötettiin tuotantolinjan muutettavien työkalujen, materiaalin jne. lukumäärät ja tuloksena saatiin tuotevaihdon kesto. Tämä tutkimus koskee tuoteperheen asetusaikaa. Tuoteperheen vaihdon kesto perustui muutettavien kohteiden lukumäärään ja niiden suorittamiseen kuluvaan aikaan. Tulosta voitiin tarkastella koko tuotantolinjan asetusaikana tai työpistekohtaisena asetusaikana, jolloin voitiin vertailla asetusaikaa vaiheikaan ja määritellä asetusten tekijöiden määrä. Tässä opinnäytetyössä esitellään kokoonpanolinjan tuotevaihdon kesto kokonaisuutena, työpistekohtaisen tuotevaihdon keston ollessa tehtaan sisäistä tietoa.

Taulukko 4. Linjan asetus aika osa-alueittain, apuaika huomioiden.

Osa-alueet	Asetusajan kesto osa-alueittain [min]	Asetusajan kesto (apuaika 22%) [min]
Materiaali, laatikko	xx	xx
Materiaali, kuormalava	xx	xx
Vääntimet, työpisteen työkalut	xx	xx
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>90</b>	<b>110</b>

Vaikkakin kyseessä on pääosin teoreettinen, suuntaa-antava tutkimus, voidaan tuloksista päätellä mahdollisen tuotevaihdon keston olevan suhteellisen lyhyt. Tuoteperhevaihtoja on tämän tutkimuksen perusteella mahdollista toteuttaa nykyisellä kombilinjakonseptilla. Huomionarvoista on, että tulokseksi saatu 110 minuutin asetus aika on yhden henkilön suoritus aika sekä tuoteperheen asetus aika – itse tuoteperheen sisäinen tuotteen asetus aika on oletettavasti lyhyempi. Lisättäessä asetuksen tekijöiden määrää, on oletettavissa asetusajan olevan kääntäen verrannollinen tekijöiden määrään. Tällöin lähestytään SMED:n johtoajatusta yksinumeroisesta asetusajasta sekä testauksen vaihe aikaa, jolloin tuotteiden virtaus testaukseen on keskeytymätön. Lisäksi asetus aikaa saadaan lyhennettyä standardoimalla tuotevaihdon käytännön tehtävät ja ohjeistus sekä muuttamalla sisäisiä asetuksia ulkoisiksi (ks. Shingo 1985, s. 30).

### 5.5.Linjan palaute kombilinjalla toteutuksesta

Kombilinja siirtyi tuotantoon myöhässä, joten täysipainoisen tuotannon syväanalyysia ei saatu tehtyä tämän opinnäytetyön puitteissa. Puolivalmiilla kombilinjalla on kuitenkin suoritettu nk. pilottiajoa, jolloin laitteita koottiin perehdyttäjien toimesta ja saatiin tärkeää palautetta linjan toimivuudesta ja kohteista, jotka vaativat vielä hiomista. Pilottiajon aikana linjalla oli kokoonpanoon tarvittavat materiaalinimikkeet sekä työkalut, jigit pois lukien. Materiaalien sijoituspaikat eivät olleet lukkoon lyötyjä tässä vaiheessa. Yksi pilottiajon tavoitteista oli saada palautetta tähän liittyen, jotta materiaalisijoittelu työpisteissä saataisiin kokoonpanon puolesta toimivaksi ja ergonomiseksi. Kombilinjalla pilottiajo poiki useamman käyttökelpoisen idean. Osa näistä ideoista on otettu käyttöön kombilinjalla, mutta joidenkin ideoiden

kohdalla joudutaan vielä jatkamaan kehittelyä. Pilottiajon aikana myös materiaalipaikat selvenivät tarpeeksi tuotantoon siirtymistä varten.

A1-kokoonpanolinjan tuotanto ehdittiin siirtää kombilinjalle juuri ennen tämän opinnäyte-työn valmistumisen määräaika. Perehdyttäjiltä ja tiiminvetäjiltä saatuun suulliseen palautteen perusteella voidaan todeta kombilinan toteutuksen olleen onnistunut. Työntekijöitä ei haastateltu suoraan, vaan perehdyttäjät ja tiiminvetäjät kertoivat miten työntekijät kokivat työskentelyn kombilinjalla. Suuret muutokset aiheuttavat usein vastarintaa, kuten myös nyt. Kritiikki ei kuitenkaan palautteen antajien mukaan kohdistunut kombilinjaan sinänsä, vaan ennemmin itse muutokseen ja vaadittavaan muutokseen omissa työskentelyrutiineissa.

Kombilinan ideoita ja toteutuksia kerättiin linjojen työntekijöiltä, perehdyttäjiltä ja tiiminvetäjiltä, mikä on antanut mahdollisuuden vaikuttaa kokoonpanolinjan toteutukseen. Informaation kulku kombilinan toteutuksen aikana linjan työnjohdon ja tehtaan tuotannon kehittämistiimin välillä on koettu parantuneen ja tuoneen esille tärkeitä kehittämiskohteita molempien tiimien kohdalla. Täysipainoinen tuotantokäyttö näyttää tulevaisuudessa kuinka toimiva konsepti kombilinja todellisuudessa on, mutta edellytykset toimivuudelle ja tehokkuudelle ovat näiden ensimmäisten kokemusten mukaan olemassa.



## 6. TAVOITTEIDEN JA TULOSTEN ARVIOINTI

Kombilinja oli yksi osa koko tehdasta käsittävää uudistus- ja tehostamisprojektia, jossa yhdistyi testauksen käyttöasteen optimointi ja tehtaan pinta-alan käytön tehostaminen. Kombilinjan rakentamisessa ja pilotoinnissa kulminoitui innovoinnin sekä ratkaisukeskeisen ajattelutavan tärkeys.

Omalle työlleni sain hyvin vapaat kädet, joka edesauttoi uusien ratkaisujen löytämistä ja niiden kehittämistä. Kombilinjalle tulevat tuoteperheet ja linjan layout olivat ainoat reunaehdot tavoitteiden saavuttamisessa. Kombilinjan kehittäminen painottui erilaisten ratkaisujen kokeilemiseen käytännössä, saamalla näin myös palautetta suoraan esim. perehdyttäjiltä ratkaisun toimivuudesta ja jatkokehityksestä. Rakentavia keskusteluja käytiin myös oman tiimin kesken heidän ohjatessa ja tukiessa projektia.

Kombilinjan tuloksena saatiin joustava ja toimiva kokoonpanolinja tuoteperheelle A1, jossa saavutettiin asetetut tavoitteet reunaehtoineen. Kombilinjan tuotevaihdon kestolle saatiin määriteltä asetusaika, joka luo pohjan kombilinjan monikäyttöisyydelle ja edesauttaa tuotevaihtojen suunnittelua jatkossa. Kombilinjan pinta-ala saavutti asetetun 30 % tehostamistavoitteen, poistamalla hukkatilaa käytäviltä ja optimoimalla materiaalipaikkojen käyttöä. Kombilinjan pilotointi loi standardin kokoonpanolinjojen toteuttamiselle sekä toimi osaltaan katalyyttinä tehtaan infrastruktuurin päivittämiselle sekä uusien työkalujen perehdytyksen järjestämiselle. Työpisteiden ja kombilinjan toteutuksessa huomioitiin työntekijän ergonomia, työpisteen helppokäyttöisyys ja työpisteen eri kokonaisuuksien yhteistoimivuus, jotka osaltaan vaikuttavat tuottavuuteen sekä työntekijöiden hyvinvointiin (Aulanko 2010, s. 12).

A1-kokoonpanolinjalta saadun palautteen pohjalta kombilinjan rakennusprosessi ja lopputulos ovat onnistuneet. Erityisesti kombilinjan valmius vastaanottaa tuotanto ja tiimin mahdollisuudet vaikuttaa tehtyihin muutoksiin, koettiin myönteisinä asioina. Tuotantolinjan esimies ja oman tiimin jäsenet olivat myös tyytyväisiä projektin sujumiseen sekä saatuun lopputulokseen.

Saatujen tulosten arvo Vaconin Vaasan tehtaalle on merkittävä. Tämän opinnäytetyön avulla on voitu siirtää idea teoriasta käytäntöön onnistuneesti. Pinta-alan käytön tehostaminen uudenlaisten kokoonpanolinjojen avulla lieventää painetta laajentaa tehtaan tuotantotiloja. Tuotantotilojen lisääminen ilman tehostamissuunnitelmaa, ajaisi yrityksen sivuun kestävän kehi-

tyksen uralta. Kombilinjan monikäyttöisyys nostaa testauksen käyttöastetta, lisää joustavuutta kapasiteetin määrittelemisessä ja tukee myös työntekijöiden moniosaamista (Saari 1982, s. 10). Kombilinjan tuoma joustavuus on uusi mahdollisuus tehtaan tuotannon kapasiteetin määrittämisessä ja nostamisessa. Joustavuus tulevaisuuden kokoonpanolinjoilla luo uusia mahdollisuuksia uusien tuotteiden kehittämiseksi, kun tuotantokapasiteettia voidaan paremmin määritellä ja sen myötä käyttää resursseja mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti. Tehostettu tilankäyttö luo mahdollisuudet valmistaa uusia tuotteita tehtaalla ja rakentaa lisää kokoonpanolinjoja. Testauksen käyttöasteen nostaminen on tärkeää, ajatellen testausyksiköihin asetettuja taloudellisesti mittavia panoksia. Joustavuuden ja käyttöasteen nosto vähentävät pullonkaulojen muodostumista tuotannossa. Kombilinjan toteutus parantaa lisäksi työntekijöiden ergonomiaa sekä fyysisesti että psyykkisesti, työntekijöiden hyvinvoinnin ollessa Vaconin kaltaiselle vastuulliselle yritykselle tärkeää. Pinta-alan säästön ja tehtaan infrastruktuurien päivitys, testauksen käyttöasteen nousun ja joustavuuden lisääntyminen, henkilöstön moniosaamisen ja ergonomian parantuminen luovat mahdollisuudet Vaconille toteuttaa strategiset päämääränsä sekä parantamaan kannattavuuttaan kestävä kehityksen mukaisesti.

Tämän opinnäytetyön edetessä huomattiin monen asian ja kohteen vaativan kehittelyä. Esimerkkinä voidaan tuoda tuotannon kehitystiimin ja tuotannon välinen toiminta. Kehitystiimissä periaatteessa kehitetään uusia ideoita ja kehitetään olemassa olevia toimintoja tulevaisuutta ajatellen, kun taas tuotannossa eletään vahvasti nykyhetkessä, jatkaen enemmän tai vähemmän samalla tavalla kuin ennenkin. Kehitystiimin esiintuodut ideat tuotannossa käytettäviksi ovat usein olleet vielä suunnitteluasteella, aiheuttaen vastarintaa tuotannon työntekijöiltä, niiden käyttöönoton hankaluudesta johtuen. Ideoiden käytännön toimimattomuus voi johtua jonkinasteisesta kuilusta kehitystiimin ja tuotannon todellisuuden välillä. Tämän opinnäytetyön puitteissa olen toiminut kehitystiimin ja tuotannon rajapinnassa, eräänlaisena siltana kuilun ylitse. Työssäni olen palvellut molempien osapuolien toivomuksia ja ajatuksia, kehittämällä ja jalostamalla niitä tuotantoon sopiviksi ja tuomalla informaatiota ratkaisujen toimivuudesta tuotannon puolelta. (vrt. Liker 2009, s. 268–271).

Ideoiden esilletuomiseen liittyen, olen huomannut tämän opinnäytetyön aikana kuinka paljon ideoita ja kokemusta tuotannossa työskentelevillä olisi annettavana tuotannon ja tehtaan toimintojen kehittämiseksi. Ideoille ei ole kuitenkaan nykytilanteessa käytännössä toimivaa, helppokäyttöistä jakelutapaa. Tämä aiheuttaa turhautuneisuutta ja jopa välinpitämättömyyttä jatkuvan parantamisen periaatetta kohtaan, jota on pidetty tehtaalla arvossaan. Jatkuvan parantamisen kulttuurin uudelleenluominen tulee olemaan suuri haaste. Kuitenkin näen sen

tavoittelemisen arvoisena tapana edistää kehitystä tuotannossa. Kokoonpanijat tekevät tuotteen jalostusarvoa nostattavan työn, joten he tuntevat parhaiten siihen liittyvän käytännön työn ja siihen vaikuttavat ongelmatilanteet. Näihin ongelmatilanteisiin liittyvä tieto tulisi saada hyödynnettyä. Jatkuva parantaminen, joka saa alkunsa tehdaslattialta, on yksi Lean-tuotannon kulmakivistä. Se luo työntekijöille mahdollisuuden vaikuttaa omaan tekemiseensä ja vahvistaa mm. yhteisöllisyyden tunnetta. (ks. Liker 2009, s. 224–240).

Yhteistoiminta, toisten ymmärtäminen ja erityisesti informaation kulku tiimien välillä, parantui tämän projektin aikana. Tiedonkulku on erittäin tärkeä osa tiimityötä, kun tavoitteet ovat yhteisiä. Kombilinjan vastaanotto työntekijöiden kesken toimii eräänlaisena mittarina siitä, kuinka tässä suhteessa on käytännössä onnistuttu. Tämän projektin myötä osoitettiin todeksi yksi Vaconin neljästä hiljattain lanseeraamistaan arvoista – yhdessä vahvempia.

Jatkotutkimusten aiheena voisi olla tuotevaihdon tarkempi suunnittelu ja asetuksen teon vieminen käytäntöön käyttämällä SMED-tekniikkaa. Standardoimalla käytännön tehtävät ja ohjeistukset sekä muuttamalla sisäisiä asetuksia ulkoisiksi, saataisiin minimaalinen asetusai-ka ja korkea joustavuus tuotannossa.

Uskon vahvasti Vaconin Vaasan tehtaan olevan menossa oikeaan suuntaan sekä joustavuuden että henkilöstön aktivoinnin suhteen. Myös tuotannon tilankäyttö paranee huomattavasti tehtaan tehostamisprojektien myötä. Vacon toimii esimerkillisesti yritystä koskevien muutosten edessä. Suuret muutokset aiheuttavat kuitenkin aina vastarintaa ja vievät aikaa. Näihin haasteisiin voidaan vastata tekemällä huolelliset suunnitelmat ja keskittymällä määrätietoiseen etenemiseen tavoitteita kohti tekemällä vaadittavia korjausliikkeitä matkan varrella.

## 7. LOPPUSANAT

Olen ollut Vaconin Vaasan tehtaalla töissä kokoonpanijana kesäkuusta 2012 lähtien. Syksyllä 2012 tiedustelin tehtaalta mahdollista opinnäytetyön aihetta. Tehtaan tuotannon kehittämistiimistä löytyi sopiva aihe, heidän suunnitteleman uuden kokoonpanolinjan, kombilinjän, layout piti viedä käytäntöön rakentamalla linja ja tutkia samalla sen toimivuutta ja soveltuvuutta tuotantoon. Minut siirrettiin tuotannon kehittämistiimiin ja pystyin aloittamaan opinnäytetyön käytännön tekemisen lokakuussa 2012.

Kombilinjän toteuttamiseen sain hyvin vapaat kädet, kombilinjän layoutin sekä sille tulevien tuotteiden olevan ainoat reunaehdot opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamisessa. Perehdyttäjien käytännön kokemus kokoonpanolinjoista ja niiden tuotteista sekä heidän asennoitumisensa uuden kehittämiseksi ja vanhan parantamiseksi olivat suureksi avuksi tämän opinnäytetyön saattamisessa loppuun. He toimivat läheisimpinä työtovereinani, joiden kanssa pystyin keskustelemaan ideoistani ja saamaan palautetta ja jatkokehityksen kohteita. Myös oman tiimini jäsenet olivat suureksi avuksi, perehdyttämällä minua tehtaan toimintoihin ja yleensä yritysmaailman kuvioihin - hypätessäni melkein suoraan kokoonpanolinjalta projektihallinnan, minulle täysin uuteen, maailmaan.

A1-tuoteperheen tuotanto saatiin siirrettyä kombilinjalle helmikuun lopulla 2013. Tuotannon siirron myöhäisestä ajankohdasta johtuen suurin osa konkreettisista tuloksista jäi saamatta tämän opinnäytetyön puitteissa. Kuitenkin konkreettinen aikaansaatu työ painaa tämän opinnäytetyön toimeksiantajan vaakakupissa eniten ja siitä saadun palautteen perusteella olen tyytyväinen tehtyyn työhön.

Lopuksi tahtoisin kiittää koko Vaconin Vaasan tehtaan henkilöstöä, jotka tietämättään tai tietoisesti ovat edesauttaneet tämän opinnäytetyön valmistumista.

## LÄHDELUETTELO

### Kirjat

Aulanko, M., Huovinen, M., Kiikka, K. & Lehtinen, M-L. (2010). *Teemana työ*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Heikkilä J. & Ketokivi M. (2009). *Tuotanto murroksessa*. Jyväskylä: Talentum Media Oy.

Kauppinen, V. (1997). Kokoonpano. Teoksessa: Lapinleimu, I., Kauppinen, V., Torvinen, S., *Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät*. (s. 111–127). Porvoo: WSOY.

Lapinleimu, I. (1997). Teknistaloudelliset perusteet. Teoksessa: Lapinleimu, I., Kauppinen, V., Torvinen, S., *Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät*. (s. 37–70). Porvoo: WSOY.

Lapinleimu, I. (1997). Tehtaan valmistusvirta. Teoksessa: Lapinleimu, I., Kauppinen, V., Torvinen, S., *Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät*. (s. 79–110). Porvoo: WSOY.

Lehtonen, J-M. (2004). Tuotanto. Teoksessa: Lehtonen, J-M. (toim.), *Tuotantotalous*. (s. 59–79). Helsinki: WSOY.

Liker, J. K. (2009) *The Toyota Way: Lean för världsklass*. Malmö: Liber.

Lumsden, K. (2012). *Logistikens grunder*. Lund: Studentlitteratur AB.

Miettinen, P. (1993). *Tuotannonohjaus ja logistiikka*. Helsinki: Painatuskeskus.

Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. New York: Productivity Press.

Pietiläinen, R. (toim.). (1992). *Teollisuusergonomia: Käsikirja suunnitteluun*. Helsinki: Työterveyslaitos.

Saari, J. (1982). *Ergonomian perusteet (Työterveyslaitos)*. Jyväskylä: K.J. Gummerus Osa-keyhtiön kirjapaino.

Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. New York: Productivity Press.

Shingo, S. (1992). *The Shingo Production Management System: Improving Process Functions*. Cambridge: Productivity Press, Inc.

Uusi-Rauva, E., Haverila, M., Kouri, I. & Miettinen, A. (2003). *Teollisuustalous*. Tampere: Infacs Johtamistekniikka Oy.

Vacon Oyj. *Tervetuloa Vaconiin*. Esite.

## Sähköiset lähteet

Ahokas, P., Tiihonen, J., Neuvonen, J. & Suikki, M. (2011). *Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita*. (Sähköinen kirja). Teknologiateollisuus ry. [http://www.teknologiainfo.net/content/kirjat/pdf-tiedostot/Laatu/Tyontutkimuksen\\_kasitteita\\_ebook.pdf](http://www.teknologiainfo.net/content/kirjat/pdf-tiedostot/Laatu/Tyontutkimuksen_kasitteita_ebook.pdf) (luettu 4.1.2013)

Räsänen, H. (ilman vuosilukua) *Kvalitatiiviset tutkimusmenetelmät*. (Luentomateriaali). Hämeen Ammattikorkeakoulu. [http://portal.hamk.fi/portal/page/portal/HAMK/koulutus/Ylempi\\_AMK\\_tutkinto/kudos/menetelmat/4\\_Kvalitatiiviset\\_tutkimusmenetelmaet.pdf](http://portal.hamk.fi/portal/page/portal/HAMK/koulutus/Ylempi_AMK_tutkinto/kudos/menetelmat/4_Kvalitatiiviset_tutkimusmenetelmaet.pdf) (luettu 30.12.2012).

Price, B. (1990). Frank and Lillian Gilbreth and the Motion Study Controversy, 1907-1930. Teoksessa: Nelson, D. (toim.), *A Mental Revolution: Scientific Management since Taylor*. (s. 58–76). Columbus: Ohio State University Press. <https://ohiostatepress.org/Books/Complete%20PDFs/Nelson%20Mental/04.pdf> (luettu 2.1.2013)

Vacon Oyj. *Vacon maailmalla*. Kotisivu. <http://www.vacon.com/fi-FI/Vacon/yritys/Vacon-maailmanlaajuisesti/> (luettu 30.1.2013).

Vacon Oyj. *Vaconin strategia*. Kotisivu. <http://www.vacon.com/fi-FI/Sijoittajat/Vaconin-strategia/> (luettu 21.12.2012).

Vacon Oyj. *Yhtiö*. Kotisivu. <http://www.vacon.com/fi-FI/Vacon/yritys/> (luettu 30.1.2013).

### **Lainsäädännön viittaukset**

Työsuojelulaki. 2002. 23.8.2002/738.